

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky**

**Návrh inteligentní elektroinstalace rodinného domu s  
využitím programovatelného automatu**

**Design of an Intelligent electrical installation with using a  
Programmable Logic Controller**

**2020**

**Bc. Dominik Rybár**

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Dominik Rybár**

Studijní program:

N2661 Projektování elektrických systémů a technologií

Téma:

Návrh inteligentní elektroinstalace rodinného domu s využitím  
programovatelného automatu  
Design of an Intelligent electrical installation with Using a  
Programmable Logic Controller

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem této diplomové práce je vypracování projektové dokumentace, která řeší systém řízení inteligentního domu a regulaci topení pro rekonstruovaný rodinný dům. Projekt bude založený na běžně dostupném programovatelném logickém automatu. Řídicí systém bude umožňovat řízení osvětlení, topení a ventilace. Řídicí systém bude vyhodnocovat spotřebu tepla a elektrické energie za účelem posouzení vhodnosti použití alternativních zdrojů energie.

1. Seznámení se s problematikou projektování rekonstrukce rodinného domu
2. Návrh řídicího systému pro zadaný objekt
3. Vytvoření projektové dokumentace
4. Sběr průběžných dat a vyhodnocení energetické účinnosti
5. Porovnání spotřeby energií před a po rekonstrukci

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Vaverka, J.: Stavební tepelná technika a energetika budov. Nakladatelství VUTIUM. Brno, 2006. ISBN 8021429100 648s
- [2] Haselhuhn, R.: Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [3] Garlík, B.: B8 – Zásady provádění elektroinstalací při realizaci budov dle principu trvale udržitelné výstavby. NSC Brno, 2012, ISBN 978-80-87665-28-2
- [4] Merz, H., Hansemann, T., Hubner Ch.: Automatizované systémy budov, Grada Publishing, a.s., Praha, 2009, 250 stran, ISBN 978-80-247-2367-9
- [5] Garlík, B.: Inteligentní budovy, BEN – technická literatura, Praha, 2012. ISBN: 978-80-7300-440-8.
- [6] Garlík, B.: Elektrotechnika a inteligentní budovy, ČVUT v Praze, Nakladatelství ČVUT, 2014.
- [7] MERZ, Hermann, Thomas Hansemann, Christof Hübner. Automatizované systémy budov. Praha: Grada Publishing, a.s., 2007
- [8] Průcha, J.: Chytré bydlení, Inteligentní dům, 2012
- [9] Valeš, M.: Inteligentní dům, ERA Group spol. s.r.o., Brno, 2006
- [10] Toman, K., Kunc, J.: Systémová technika budov, Praha, 1998
- [11] Solid Team s.r.o., Vzdělávací a zkušební centrum
- [12] UNMZ, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

[13] ČSN EN 61439-1 ed. 2 Rozváděče nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení. Praha: UNMZ, 2012, Třídící znak: 357107.


[14] ČSN EN 61557-1 ed. 2 Elektrická bezpečnost v nízkonapěťových rozvodných sítích se střídavým napětím do 1 000 V a se stejnosměrným napětím do 1 500 V - Zařízení ke zkoušení, měření nebo sledování činnosti prostředků ochrany - Část 1: Všeobecné požadavky, Praha: ÚNMZ, 2008, Třídící znak: 356230.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Hrbáč, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.  
vedoucí katedry




  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prehlásenie študenta

Prehlasujem že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie z ktorých som čerpal.

V Ostrave dňa: 15. mája 2020

  
.....  
podpis študenta

## **Pod'akovanie**

Moje pod'akovanie patrí pánovi Ing. Romanovi Hrbáčovi, PhD. za odbornú pomoc a konzultácie nielen pri vytváraní tejto práce ale aj počas celého môjho štúdia.

## **Abstrakt**

Táto práca sa zaoberá návrhom projektovej dokumentácie pre rekonštrukciu rodinného domu s prvkami inteligentnej inštalácie. Pre jej návrh bude použitý najnovší riadiaci systém od firmy Siemens. V návrhu sa jedná o ovládanie svetiel, kúrenia, ventilácie a žalúzií. Súčasný stav je riešený ako jednoduchá inštalácia bez inteligentných prvkov, núteného vetrania a regulácie kúrenia pre jednotlivé izby. Systém s programovateľným automatom som si vybral z dôvodu, že som s ním získal veľa skúseností počas individuálnej praxe a chcem sa v ich projektovaní zdokonaľiť. Počas svojho štúdia som absolvoval kurz pre zbernicové systémy KNX s ktorým budem svoje riešenie porovnávať z hľadiska ceny a zložitosti elektroinštalácie a v ktorom som hľadal inšpiráciu pre funkcie ktoré chcem implementovať. Na záver budem implementovať aj systém pre vyhodnotenie spotreby elektrickej energie a tepla, aby bolo možné po rekonštrukcii porovnať úsporu riešenia a vhodnosť použitia ekologickejších zdrojov energie.

## **Kľúčové slová**

Rekonštrukcia rodinného domu; inteligentná domácnosť; programovateľný automat;

## **Abstract**

This thesis is dedicated to design of project for residential building reconstruction with smart features. For its design will be used the newest control system from Siemens. Thanks to this design will be possible to control lights, heating, ventilation and blinds. Current installation is simple without intelligent features, ventilation and control of temperature for each room. I choose system with programmable logic controller because I gained lot of practice with them during my individual training in company and I wanted to improve in their design and programming. During my study I completed the course for bus system KNX with which I will be comparing my design and in which I was seeking for inspiration. At the end I want to implement system for monitoring of electrical and thermal energy consumption to make comparing of current and future data easier. Also then I will be able to compare consumption after reconstruction and consider use of more ecologic sources of energy.

## **Key words**

Reconstruction of family house; smart home; programmable logic controller

## Zoznam použitých symbolov

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
$U$	V	Napätie
$I$	A	Prúd
$P$	W	Činný výkon
$Q$	Var	Jalový výkon
$S$	VA	Zdanlivý výkon
$T$	S	Periódá
$f$	Hz	Frekvencia

---



## Zoznam použitých skratiek

Skratka	Význam
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller
<b>DI</b>	Digital Input
<b>DO</b>	Digital Output
<b>AI</b>	Analog Input
<b>AO</b>	Analog Output
<b>DALI</b>	Digital Adressible Lighting Interface
<b>HSC</b>	High Speed Counter
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation
<b>SM</b>	Signal Module
<b>SB</b>	Signal Board
<b>CB</b>	Communication Board
<b>PM</b>	Power Module
<b>CSM</b>	Compact Switch Module
<b>RTD</b>	Resistance Temperature Detector
<b>CO2</b>	Oxid uhličitý
<b>MEMS</b>	Micro Electric Mechanical System
<b>PAS</b>	Photo Acoustic Spectroscopy
<b>FBD</b>	Function Block Diagram
<b>FB</b>	Function Block
<b>FC</b>	Function
<b>OB</b>	Organisation Block
<b>DB</b>	Data Block
<b>TP</b>	Twisted Pair

---

# Obsah

Úvod.....	- 13 -
1 Inteligentné domy.....	- 14 -
1.1 Definícia inteligentného domu .....	- 14 -
1.2 Centralizovaný systém .....	- 14 -
1.3 Decentralizovaný systém.....	- 14 -
2 Programovateľné logické automaty .....	- 15 -
2.1 Princíp funkcie PLC .....	- 15 -
2.2 Rada kompaktných kontrolérov od firmy Siemens .....	- 15 -
2.3 Možnosti rozšírenia .....	- 16 -
2.4 Generátor impulzov.....	- 16 -
2.5 Vysokorýchlostný čítač .....	- 17 -
2.6 Modbus.....	- 18 -
2.7 PID Riadenie .....	- 19 -
2.8 PID Algoritmus .....	- 19 -
2.9 Vstupno/výstupné karty (SM) .....	- 20 -
2.9.1 SM 1223 DI 16 (24VDC) DQ 16 (24VDC) .....	- 20 -
2.9.2 SM 1223 16 DI (24VDC) 16 DO (Rly).....	- 21 -
2.9.3 SM 1234 AI 4x13bit AQ2x14bit.....	- 22 -
2.9.4 SM 1238 Energy Meter 480VAC.....	- 23 -
2.9.5 CB 1241 RS485.....	- 24 -
2.9.6 PM 1207 Power module .....	- 25 -
2.9.7 CSM 1277.....	- 25 -
2.9.8 SITOP PSU200M .....	- 25 -
3 Meranie teploty .....	- 26 -
3.1 Tepelná pohoda .....	- 26 -
3.1.1 Teplota vzduchu .....	- 26 -
3.1.2 Teplota vyžarovania .....	- 26 -
3.1.3 Prúdenie vzduchu .....	- 26 -
3.1.4 Vlhkosť vzduchu .....	- 26 -

3.1.5	Oblečenie.....	- 27 -
3.2	Spôsoby zaistenia tepelnej pohody.....	- 27 -
3.2.1	Spôsoby vykurovania .....	- 27 -
3.2.2	Vetranie .....	- 27 -
3.2.3	Klimatizácia.....	- 27 -
3.2.4	Tepelná izolácia.....	- 27 -
4	Meranie koncentrácie oxidu uhličitého .....	- 28 -
4.1	Dôvod potreby merania koncentrácie oxidu uhličitého.....	- 28 -
4.1.1	Vplyv zvýšenej koncentrácie oxidu uhličitého na človeka .....	- 28 -
4.2	Spôsob merania koncentrácie oxidu uhličitého .....	- 29 -
4.2.1	Princíp funkcie NDIR snímačov .....	- 29 -
4.2.2	Spôsob výpočtu koncentrácie oxidu uhličitého .....	- 29 -
4.2.3	Vývoj snímačov koncentrácie oxidu uhličitého .....	- 29 -
4.2.4	Snímač MH-Z19.....	- 30 -
4.2.5	Parametre PWM .....	- 30 -
4.3	Vyhodnotenie PWM pomocou PLC.....	- 32 -
4.3.1	Nastavenie generátoru impulzov .....	- 32 -
4.3.2	Nastavenie čítača.....	- 33 -
4.3.3	Program v PLC .....	- 34 -
4.3.4	Popis funkčného bloku .....	- 35 -
4.3.5	Volanie funkčného bloku .....	- 35 -
5	Meranie teploty .....	- 36 -
5.1	Spôsob merania teploty .....	- 36 -
5.2	Typy použitých snímačov .....	- 36 -
5.3	Prevodník .....	- 36 -
5.3.1	Parametre signálu .....	- 37 -
5.3.2	Eliminovanie rušenia.....	- 37 -
5.4	Nastavenie vstupov v PLC .....	- 38 -
5.5	Spracovanie signálu v PLC .....	- 39 -
6	Nútené vetranie a rekuperácia .....	- 40 -
6.1	Ovládanie vetrania.....	- 40 -

---

6.1.1	Nastavenie výstupov pre ovládanie ventilátora .....	- 40 -
6.1.2	Spracovanie signálu v PLC .....	- 41 -
6.2	Ovládanie klapiek.....	- 41 -
6.2.1	Princíp funkcie modelárskeho servopohonu.....	- 42 -
6.2.2	Nastavenie generátoru impulzov .....	- 43 -
6.2.3	Výpočet dĺžky pulzu.....	- 43 -
6.2.4	Generovanie PWM v PLC.....	- 44 -
6.2.5	Program v PLC .....	- 44 -
7	Meranie spotreby elektrickej energie .....	- 45 -
7.1	Nastavenie siete.....	- 45 -
7.2	Nastavenie Analógových rozsahov .....	- 46 -
7.3	Spracovanie dát v PLC.....	- 47 -
7.3.1	Inštrukcia RDREC.....	- 47 -
7.3.2	Dostupné dáta .....	- 47 -
7.3.3	Čítanie dát.....	- 48 -
7.3.4	Prevod jednotiek.....	- 48 -
7.3.5	Výpočet priemerného štvrťhodinového výkonu.....	- 49 -
7.3.6	Datalogging .....	- 50 -
7.3.7	Webserver.....	- 50 -
8	Meranie spotreby tepelnej energie .....	- 51 -
8.1	Merač UH50.....	- 51 -
8.2	Princíp prenosu dát.....	- 51 -
8.3	Popis programu .....	- 52 -
9	Osvetlenie.....	- 53 -
9.1	Pripojenie gateway .....	- 53 -
9.2	Konfigurácia gateway .....	- 53 -
10	Žalúzie.....	- 54 -
10.1	Program pre ovládanie žalúzií.....	- 54 -
Záver .....		- 55 -
Použitá literatúra .....		lvi
Zoznam príloh .....		lviii

## Úvod

Náplňou tejto práce je vyhotovenie projektovej dokumentácie (eplan) pre rekonštrukciu rodinného domu. Dôvod prečo som sa rozhodol naprojektovať rekonštrukciu rodinného domu v ktorom bývam je zvýšenie užívateľského komfortu. Rodinný dom bol postavený v roku 2000 a aj keď na stavbu boli použité moderné materiály, elektroinštalácie v tej dobe neobsahovali žiadne komfortné prvky a zbernicové systémy neboli známe medzi širokou verejnosťou hlavne vďaka svojej cene. Dnes však ceny komponentov klesajú a ceny energií rastú a tak sa aj za pomoci rôznych dotácií začínajú ľudia zaujímať o alternatívne zdroje a zvyšovanie komfortu bývania. V tomto dome je hlavným problémom regulácia teploty a vetranie. Ovládanie vykurovania je riešené dvojstavovým termostatom umiestneným v obývacej miestnosti. To spôsobuje nerovnomerné vykurovanie v ostatných miestnostiach. Ďalším problémom je teplo v letnom období. Podkrovné izby sa v letných mesiacoch prehrievajú na neúnosnú úroveň a tým sa stávajú neobývateľné. Preto som sa rozhodol vypracovať projekt v ktorom zahrniem nútené vetranie týchto priestorov, ako aj reguláciu vykurovania pre jednotlivé miestnosti. Pre zlepšenie podmienok v letnom období budú inštalované vonkajšie žalúzie ktoré budú takisto pripojené na centrálny riadiaci systém. Pre centralizovaný riadiaci systém som sa rozhodol pre jeho dostupnosť a kvôli predchádzajúcim skúsenostiam z práce. Pokúsim sa s výhodou použiť zbernicový systém pre ovládanie svetiel pretože analógové moduly pre PLC sú príliš nákladné a na túto aplikáciu nevhodné. Na záver vypracujem zhodnotenie svojho riešenia a jeho porovnanie so systémom KNX.

# 1 Inteligentné domy

## 1.1 Definícia inteligentného domu

Zariadenia inteligentnej domácnosti sú vzájomne prepojené a môžu spolu komunikovať pomocou centrálného zariadenia ako smartfón, tablet počítač alebo dokonca herná konzola. Zámky dverí, televízie, termostaty, kamery, svetlá, chladničky, to všetko je dnes možné ovládať centrálnie alebo nastavovať rozvrhy s časom a akciou ktorá sa má vykonať. Niektoré systémy dokonca ponúkajú samo-učiace funkcie ktoré sledujú vaše denné rituály a upravujú rozvrhy podľa potreby. Inteligentné domácnosti ktoré disponujú ovládaním osvetlenia, kúrenia a vetrania umožňujú svojim prevádzkovateľom ušetriť aj nemalé finančné prostriedky.

Vyskytujú sa dva hlavné typy prevedenia inteligentnej domácnosti a to drôtová, bezdrôtová alebo kombinácia oboch. Bezdrôtové systémy sú jednoduchšie na inštaláciu. Zariadenia ako osvetlenie, vetranie a klimatizácia, ich zabezpečenie je možné realizovať za pomerne nízku sumu. Veľmi často sa spotrebiče pripájajú na internet v rámci takzvaného "Internetu vecí" alebo skratene IOT. Táto idea je veľmi vznešená ale v dnešnej dobe vládne v IOT chaos. Každý výrobca implementuje "smart" funkcie podľa vlastného uváženia a väčšinou vo svojej uzamknutej aplikácii. Je snaha o vytvorenie akýchsi "ekosystémov" zložených z produktov len jedného výrobcu. Poďme sa teda pozrieť na riešenia pevných inteligentných inštalácií.

## 1.2 Centralizovaný systém

Jedná sa o elektroinštaláciu kde je logika umiestnená v jednom rozvážači alebo na jednom mieste. Všetky akčné členy a senzory sú privedené do tohto miesta. Obsahuje jeden počítač, PLC alebo PC, ktorý zabezpečuje všetky úlohy ako komunikácia, spracovanie vstupov/výstupov, ovládanie pohonov a akčných členov. Tým pádom musí byť výpočtový výkon značne vyšší. Ale jedná sa len o jedno zariadenie, takže nároky na náhradné diely sú menšie. Väčšinou sa toto riešenie v budovách vyznačuje väčším rozmerom rozvážačov a potrebou zapojenia väčšieho množstva káblov. Centralizovaný systém vyžaduje privedenie každého vstupu a každého výstupu zvlášť do rozvážača, takže sa hodí primárne pre menšie stavby alebo chaty.

## 1.3 Decentralizovaný systém

Nemá žiadnu centrálnu jednotku. Používa komunikačné rozhranie najčastejšie Twisted pair (TP) po ktorom si po zbernici posielajú jednotliví účastníci telegramy s adresami a povelmi pre cieľových účastníkov. Výhodou je oveľa jednoduchšia kabeláž, pretože akčné členy môžu byť priamo na mieste kde je riadenie potrebné (svetlá) a tak predstavujú značnú úsporu kabeláže pri montáži. Vzhľadom na svoju zložitosť sú však aj drahšie, pretože v jednom zariadení je obsiahnutý komunikačný modul, programové vybavenie a aj akčný člen.

## 2 Programovateľné logické automaty

### 2.1 Princíp funkcie PLC

Každý cyklus obsahuje čítanie vstupov, prevedenie používateľského programu, zapísanie výstupov, vykonávanie systémovej údržby a prevedenie procesov na pozadí. Tomuto cyklu sa hovorí scan. Pri bežných podmienkach, všetky digitálne a analógové vstupno-výstupné body sú obnovené synchronne so scanom za použitia vnútornej časti pamäte ktorá sa nazýva "process image". Tento Process image obsahuje stavy všetkých fyzických vstupov a výstupov procesora, signálnych modulov a signálnych kariet.

CPU číta fyzické vstupy pred spustením používateľského programu a uloží tieto hodnoty v process image. Toto zabezpečí aby vstupné dáta boli rovnaké počas celého času cyklu.

CPU spustí logiku používateľského programu a aktualizuje výstupné hodnoty v process image namiesto zápisu na fyzické výstupy

Po ukončení používateľského programu CPU zapíše výstupy z process image do fyzických výstupov [15]

### 2.2 Rada kompaktných kontrolérov od firmy Siemens

Kompaktný kontrolér S7-1200 je modulárny priestorovo efektívny programovateľný automat pre malé automatizačné úlohy ktoré požadujú jednoduché alebo aj pokročilé logické funkcie, rozhranie HMI a sieťové prepojenie.

Táto kompaktná rada kontrolérov môže byť spolu s HMI programovaná z vývojového prostredia TIA Portál. Možnosť programovania oboch zariadení súčasne a v jednom programe značne znižuje časovú ale aj finančnú náročnosť projektu.

Všetky PLC tejto rady obsahujú :

- Mikroprocesor
- Zdroj pre napájanie mikroprocesora, pamäti a komunikácie s rozširujúcimi modulmi
- Vstavané rozhranie Profinet
- Rýchle vstupy/výstupy schopné ovládať pohyby
- Analógové vstupy/výstupy aby sa znížili nároky na miesto a znížila sa potreba rozširovacích modulov
- 4 generátory impulzov s možnosťou sekvenčného riadenia alebo PWM
- 6 vysokorýchlostných čítačov
- Vstavané vstupy/výstupy ktoré ponúkajú od 6 do 14 vstupov a od 4 do 10 výstupov
- Možnosť rozšírenia pomocou signálnych modulov
- Možnosť rozšírenia pomocou signálnych kariet

Po nahratí programu procesor obsahuje logiku potrebnú pre monitorovanie a ovládanie zariadení vo vašej aplikácii. CPU monitoruje vstupy a mení výstupy vzhľadom na logiku obsiahnutú v užívateľskom programe ktorá môže obsahovať boolovu logiku, čítače, časovače, komplexné matematické operácie a komunikáciu s ostatnými inteligentnými zariadeniami. Okrem vstavaného profinetu je možné komunikovať aj pomocou PROFIBUS, GRPS, RS485, RS232 a mnoho ďalších. [16]

## 2.3 Možnosti rozšírenia

V ponuke je veľké množstvo modulov a zásuvných kariet pre rozšírenie možností kontroléru o ďalšie vstupy a výstupy alebo komunikačné médiá a protokoly. Tieto rozšírenia sa dajú rozdeliť do troch kategórií :

- Komunikačné moduly (CM) alebo komunikačné procesory (CP) - Umiestnené naľavo od CPU
- Signálne dosky (SB) - digitálne, analógové, komunikačné alebo batériové
- Signálne moduly (SM) - digitálne, analógové, na meranie teploty pomocou termočlánkov alebo odporových snímačov teploty a technologické moduly

## 2.4 Generátor impulzov

Procesor alebo signálová doska môžu byť nakonfigurované tak aby poskytovali štyri generátory pulzov či už (PWM) pulzno-šírkovou moduláciou kde je frekvencia konštantná a mení sa strieda signálu alebo ako (PTO) ktorá sa používa na generovanie série impulzov pre zariadenia ako napríklad servo menič. Strieda zostáva konštantná 50%, mení sa frekvencia impulzov. Ale nikdy oba módy naraz. Ak nastavíme výstup generátora pulzov na fyzický výstup procesora, dajú sa použiť iba vstavané výstupy alebo výstupy na signálnej doske a nie je možné už tento výstup použiť v programe. Táto vstupná adresa bude odstránená z tabuľky výstupov a nemôže byť jeho stav zmenený užívateľským programom.

Maximálna frekvencia pulzného generátora je 1MHz pre CPU 1217C a 100kHz pre CPU 1211C, 1212C, 1214C a 1215C. Pre signálne dosky je to 20kHz pre štandardné prevedenie a 200kHz pre vysokorýchlostné prevedenie. [15]

Pri programovaní jednoduchých pohonov programové prostredie nekontroluje maximálnu nastavenú rýchlosť aby nepresiahla možnosti hardwaru. Preto je potrebné si overiť či nie je pri maximálnej rýchlosti pohonu prekročená maximálna frekvencia výstupu. [15]

V tomto projekte budem používať generátor pulzov spolu s vysokorýchlostným čítačom pre vyhodnocovanie množstva CO<sub>2</sub> vo vzduchu .



## 2.5 Vysokorýchlostný čítač

Vysokorýchlostné čítače dokážu počítať udalosti ktoré prebiehajú rýchlejšie ako je rýchlosť scanu alebo cyklického prerušenia. Inštrukcia CTRL\_HSC dovoľuje zmenu niektorých parametrov vysokorýchlostných čítačov.

Ukážeme si to na príklade: použijeme vysokorýchlostný čítač ako inkrementálny enkodér. Hriadeľ enkodéru sa otáča určitou rýchlosťou a signál pre synchronizáciu sa posiela raz za otáčku. Pulzy enkodéru a synchronizačný impulz sú privedené na vstup vysokorýchlostného čítača. Výstup sa spustí na čas kedy je počet pulzov v čítači menší ako požadovaný počet pulzov v programe. Vysokorýchlostný čítač vyvolá prerušenie ak sa hodnota čítača rovná požadovanej hodnote, keď príde impulz pre reset alebo keď sa zmení smer počítania. Ak nastane prerušenie keď sa požadovaná hodnota rovná aktuálnej, môže byť načítané iné nastavenie čítača a cyklus sa opakuje. Keďže sa tieto prerušenia vyvolávajú v oveľa menšej rýchlosti ako čítanie pulzov, vysokorýchlostná regulácia môže byť implementovaná iba s malým vplyvom na čas cyklu procesora.

Všetky vysokorýchlostné čítače fungujú rovnako ak sú nastavené v rovnakom móde. Mód čítača, ovládanie smeru, a počiatočný smer sú priradené v hardwarovej konfigurácii procesora. Existujú štyri základné typy vysokorýchlostných čítačov :

- Jednofázový čítač s vnútorným riadením smeru
- Jednofázový čítač s externým riadením smeru
- Dvojfázový čítač s dvomi vstupmi pre takt
- Dvojfázový čítač s vyhodnocovaním kvadrantu fázy A/B

Je možné nakonfigurovať čítače s alebo bez resetovacieho vstupu. Keď je resetovací vstup aktívny aktuálna hodnota bude resetovaná a zostane resetovaná až do deaktivácie vstupu.

- Funkcia merania frekvencie: čítač je možné nastaviť tak aby vyhodnocoval frekvenciu vstupného signálu namiesto počtu impulzov. Dostupné sú tri rozsahy merania 10ms, 100ms a 1000ms. Ak sa frekvencia rapídne mení, výsledok je stredná hodnota frekvencie v meranom intervale. Frekvencia je vždy vyhodnocovaná v Hz
- Funkcia merania periódy : Perióda je v nastavenom intervale 10ms, 100ms, 1000ms. Inštrukcia HSC\_Period vyhodnocuje periódu ako dve hodnoty - uplynutý čas a počet nábežných hrán. [15]

## 2.6 Modbus

Procesor podporuje protokol Modbus po dvoch fyzických médiách:

- Modbus RTU (Remote terminal unit) je štandardný komunikačný protokol ktorý používa rozhranie RS232 alebo RS485 pre sériový prenos dát medzi účastníkmi siete. Zariadenia komunikujú pomocou master/slave hierarchie kde jedno zariadenie zvané Master môže iniciovať komunikáciu. Ostatné zariadenia Slave odpovedajú zaslaním požadovaných dát Masterovi alebo vykonaní akcie na základe požiadavky.
- Modbus TCP (Transmission Control Protocol) je štandardný komunikačný protokol ktorý používa rozhranie PROFINET pre TCP/IP komunikáciu. Žiadne ďalšie komunikačné moduly nie sú potrebné. V protokole Modbus TCP sa používa prepojenie klient-server ako komunikačná cesta. Viacero spojení klient-server môže byť aktívnych súčasne spolu s S7 komunikáciou (distribúované vstupy/výstupy, HMI...)

Inštrukcie pre komunikáciu Modbus RTU (RS232 alebo RS485):

- Modbus\_Comm\_Load: tento príkaz sa volá iba raz a to na začiatku komunikácie. Pomocou tohto príkazu sa nastavujú parametre komunikačného kanálu ako rýchlosť, kontrola parity a kontrola toku. Po nastavení portu ktorý sa používa na komunikáciu pomocou Modbus RTU protokolu je ho možné ovládať iba Modbus\_Master alebo Modbus\_Slave inštrukciami.
- Modbus\_Master: táto inštrukcia umožňuje procesoru správať sa ako Modbus master a tak komunikovať s jedným alebo viacerými zariadeniami typu Slave
- Modbus\_Slave: táto inštrukcia umožňuje procesoru správať sa ako Modbus slave a tak komunikovať s iným zariadením typu Master. [15]

## 2.7 PID Riadenie

Pre tieto procesory sú dostupné tieto inštrukcie pre riadenie pomocou PID:

- PID\_Compact je vhodný pre zariadenia kde sú používané spojitý vstupné a výstupné premenné
- PID\_3Step je vhodný pre zariadenia kde sa ovládajú motory, ako napríklad ventily ktoré požadujú diskkrétne signály na otváranie-zatváranie
- PID\_Temp inštrukcia je univerzálne PID riadenie ktoré je usposobené pre špecifické požiadavky riadenia teploty.

Všetky tri inštrukcie si dokážu odvodiť P-I-D zložky počas inicializácie. Tak isto je možné meniť tieto hodnoty na optimalizáciu parametrov zariadenia. Nie je nutné počítat parametre. PID regulácia teploty väčšinou nemá veľkú dynamiku, pretože sústava potrebuje určitý čas na vygenerovanie odozvy na zmenu riadiacej veličiny. Nie je preto vhodné volať PID inštrukciu spolu s ostatným používateľským programom, ale je vhodné vytvoriť si pre tieto inštrukcie zvlášť cyklické prerušenie s dlhším časom. [15]

## 2.8 PID Algoritmus

PID (Proporcionálny/Integračný/Derivačný) regulátor meria interval medzi volaniami inštrukcie pre monitorovanie vzorkovacieho času. Stredná hodnota vzorkovacieho času je vypočítaná pri každej zmene módu a pri štarte. Výstupná hodnota sa skladá z troch komponentov:

- P (Proporcionálny): pri výpočte proporcionálnej zložky je výstupná hodnota priamo úmerná rozdielu medzi vstupnou veličinou a požadovanou veličinou
- I (Integračný): pri výpočte integračnej zložky sa výstupná hodnota zvyšuje v závislosti na trvaní rozdielu medzi nastavenou hodnotou a požadovanou hodnotou
- D (Derivačný): pri výpočte derivačnej zložky sa výstup zvyšuje ako funkcia rýchlosti zmeny rozdielu medzi nastavenou hodnotou a požadovanou hodnotou [15]

## 2.9 Vstupno/výstupné karty (SM)

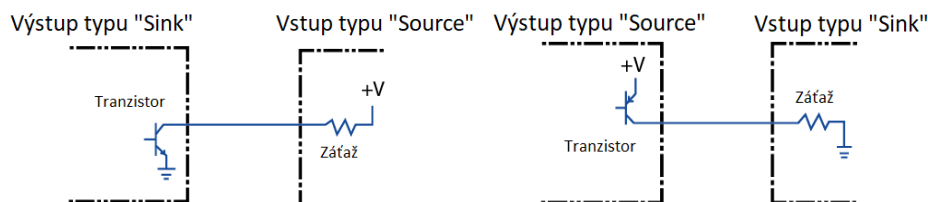
### 2.9.1 SM 1223 DI 16 (24VDC) DQ 16 (24VDC)

Jedná sa o kombinovanú kartu digitálnych vstupov a výstupov. Pre tento riadiaci systém je to karta s najväčším počtom dátových bodov. Vstupy sú typu sink/source podľa zapojenia.

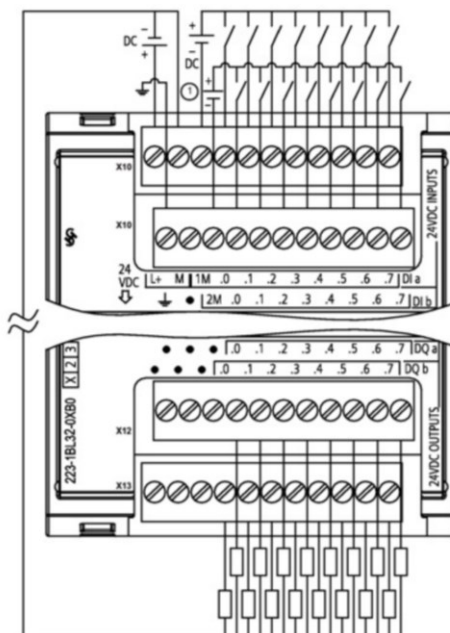
Ak sú vstupy zapojené ako "sink" nedodávajú žiadne napájanie. Napájanie musí byť privedené samostatne. Z hľadiska zdroja sa chová ako odporová záťaž. Logická "0" je definovaná ako napätie pod 5V a logická "1" je definovaná ako napätie vyššie ako 15V.

Ak sú vstupy zapojené ako "source" tak je na ich výstupe stále napätie a aktivujú sa uzemnením. Napäťové hladiny zostávajú rovnaké

Výstupy sú rozdelené do dvoch potenciálových skupín. Výstupy sú tvorené tranzistormi MOSFET s maximálnym konštantným prúdom 500mA a 8A na 100ms. Minimálne napätie pri menovitej záťaži je 20V. [15]



Obrázek 1.1: Grafické znázornenie typu Sink a Source [9]



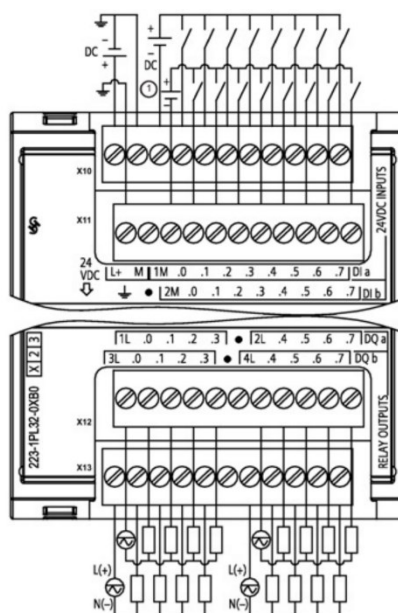
Obrázek 1.2: Katalógové zapojenie 6ES7 223-1BL32-0XB0 [15]

## 2.9.2 SM 1223 16 DI (24VDC) 16 DO (Rly)

Jedná sa o kombinovanú kartu digitálnych vstupov a výstupov. Pre tento riadiaci systém je to karta s najväčším počtom dátových bodov. Vstupy sú typu sink/source podľa zapojenia.

Parametre a vlastnosti vstupov sú rovnaké ako pre SM 1223 16 DI (24V) 16 DQ (24VDC).

Výstupy sú typu relé. Ich maximálne pracovné napätie je 250VAC. Maximálny trvalý prúd jedného kontaktu je 2A. Maximálny nárazový prúd je 7A. Výstupy sú rozdelené do štyroch potenciálových skupín. Maximálna spínacia frekvencia je 1Hz.



Obrázek 1.3: Katalógové zapojenie 6ES7 223-1PL32-0XB0 [15]

### 2.9.3 SM 1234 AI 4x13bit AQ2x14bit

Jedná sa o kombinovanú kartu analógových vstupov a výstupov.

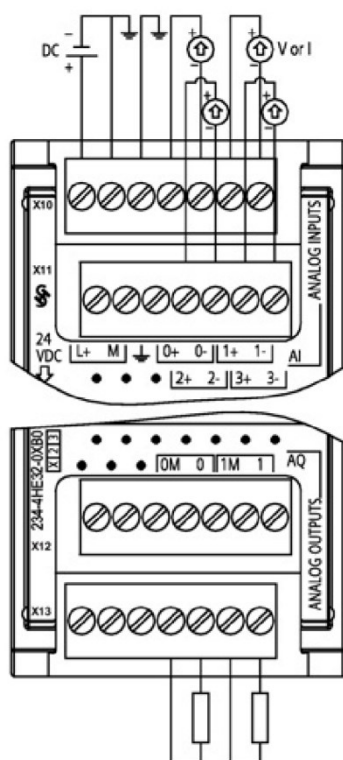
Pre vstupy sú dostupné prepínateľné rozsahy:

- Napäťové  $\pm 10V$ ,  $\pm 5V$ ,  $\pm 2.5V$  (vstupný odpor  $> 9\text{ MOhm}$ )
- Prúdové  $4\text{-}20\text{mA}$  alebo  $0\text{-}20\text{mA}$  (vstupný odpor  $280\text{mA}$ )

Pre výstupy sú dostupné prepínateľné rozsahy:

- Napäťové  $\pm 10V$  (rozlíšenie 14bit)
- Prúdové  $4\text{-}20\text{mA}$  alebo  $0\text{-}20\text{mA}$  (rozlíšenie 13bit)

Prúdová slučka  $4\text{-}20\text{mA}$  poskytuje detekciu prerušenia obvodu pre vstupy aj výstupy. Takisto je možné generovať alarm v prípade skratu na výstupe a výpadku napájacieho napätia. Vstupy ponúkajú možnosť nastavenia vstupného filtra pre 10, 50, 60 a 400Hz pre odfiltrovanie vplyvov siete na vstupy. Ponúkajú aj funkciu vyhladenia vstupných dát a to priemerom za 4, 16 a 32 cyklov.



Obrázek 1.4: Katalógové zapojenie 6ES7 234-4HE32-0XB0 [15]

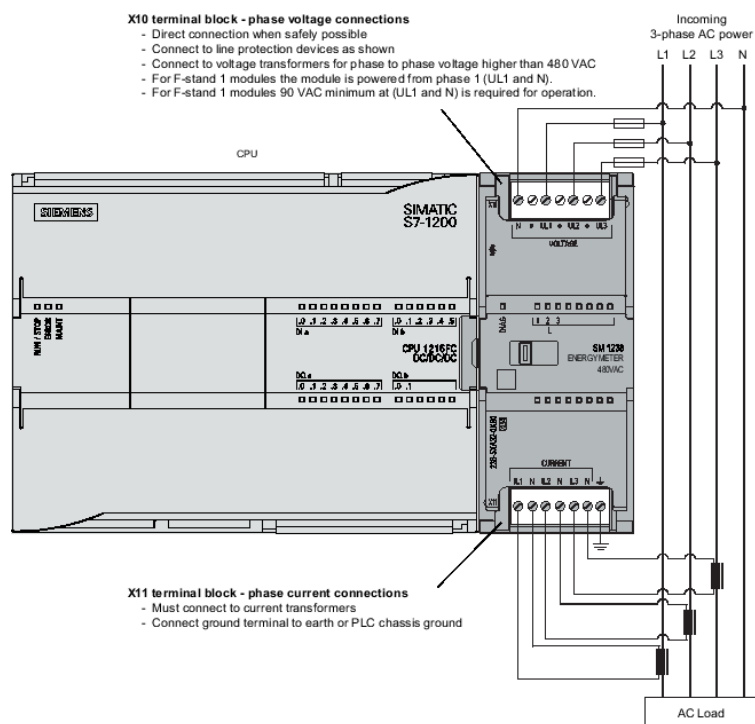
## 2.9.4 SM 1238 Energy Meter 480VAC

Jedná sa o modul pre meranie parametrov siete a toku elektrickej energie. Umožňuje miestne meranie spotreby pre jedno zariadenie alebo aj pre celú budovu. Pomocou tohto modulu môžeme určiť presnú spotrebu elektrickej energie a jej dopyt. Z týchto hodnôt môžeme určiť efektivitu nášho riešenia ako aj predpovedať jeho spotrebu v budúcnosti. Ako malý bonus môžeme prepočítať údaje o spotrebe na množstvo CO<sub>2</sub>.

Modul je napájaný zo zbernice procesora takže zostane v prevádzke aj keď vypadne niektorá z fáz. Umožňuje meranie v jednofázových, dvojfázových aj trojfázových rozvodoch. Maximálne združené napätie medzi fázami môže byť 480V a fázové 277V AC.

V jeho registroch nájdeme nasledujúce merania :

- Napätia fázové aj združené
- Prúdy fázové
- Fázy prúdov
- Činný výkon (W), jalový výkon (VAr) a zdanlivý výkon (VA)
- Počítadlo spotreby elektrickej energie (Elektrickej práce)
- Frekvencie
- Minimálne a maximálne hodnoty
- Účinníky
- Počítadlo prevádzkových hodín

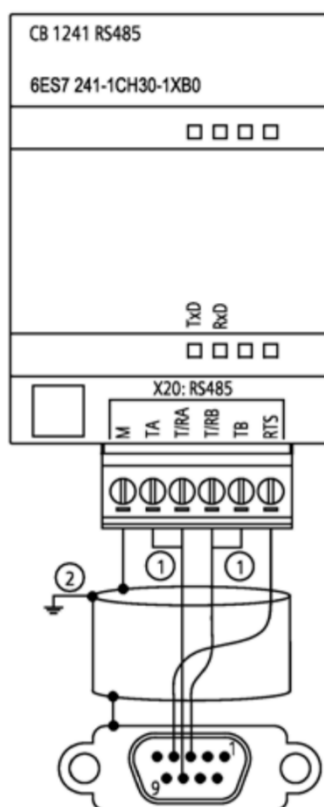


Obrázek 1.5: Katalógové zapojenie 6ES7 238-5XA32-0XB0 [15]

## 2.9.5 CB 1241 RS485

Jedná sa o komunikačnú dosku pre rozhranie RS485 (2-vodiče polo-duplex). Obsahuje vstavané ukončovacie rezistory - 10kOhm pripojený na +5V a 10kOhm pripojený na GND.

- Rýchlosť: 300 baud, 600 baud, 1.2 kbit/s, 2.4 kbit/s, 4.8 kbit/s, 9.6 kbit/s (základné nastavenie), 19.2 kbit/s, 38.4 kbit/s, 57.6 kbit/s, 76.8 kbit/s, 115.2 kbit/s
- Kontrola parity: žiadna (základné nastavenie), párna, nepárna, značka (parity bit vždy 1), pauza (parity bit vždy 0)
- Počet ukončovacích bitov: 1 (základné nastavenie), 2 (voliteľné)



Obrázek 1.6: Katalógové zapojenie 6ES7 241-1CH30-1XB0

9-Pinový konektor nie je súčasťou dodávky, je ho preto potrebné objednať zvlášť.

Pin	9-Pinový konektor	X20
3	RS485 / TxD +	3- T/RB
4	RS485 / RTS	1 - RTS
8	RS485 / TxD -	4 - T/RA

Tabulka 1.1:

*Zapojenie 9-Pinového konektora pre komunikáciu RS485 [15]*



### 2.9.6 PM 1207 Power module

Je stabilizovaný zdroj vo formáte prídavného modulu pre S7-1200. Je galvanicky oddelený od napájacieho napätia. Napájacie napätie 176 ... 264VAC, menovitý prúd 0.67A. Obmedzenie štartovacieho prúdu na 13A. Odporúčané istenie ističom B16 alebo C10. Trvalý výkon 60W. Výstupné napätie 24V, prúd 2.5A. [15]

Tento zdroj je ideálny na napájanie PLC a prídavných modulov.

Katalógové označenie : 6AG1332-1SH71-4AA0.

### 2.9.7 CSM 1277

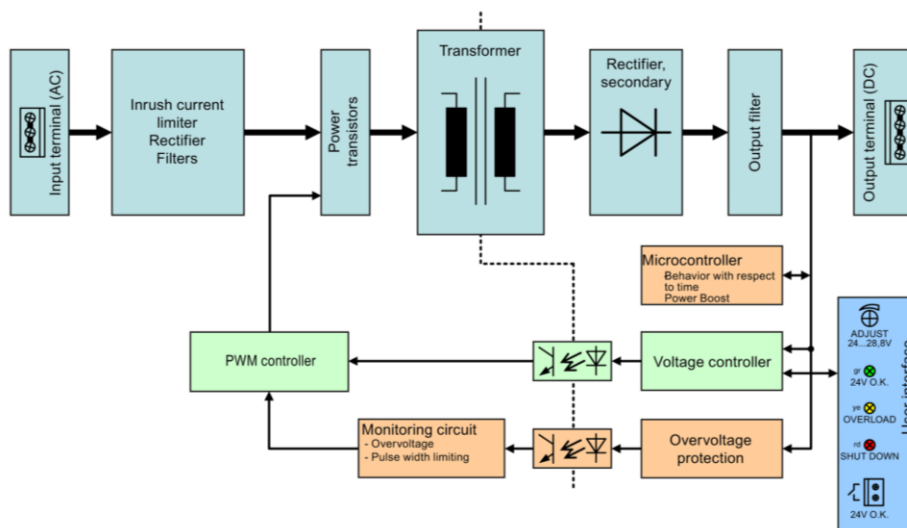
Je kompaktný switch pre priemyselný internet. Môže byť použitý na rozmnoženie PROFINET rozhrania na procesore a tým umožniť pripojenie viacerých používateľských panelov, programovacích zariadení alebo iných procesorov.

- 4x RJ45 zásuvka pre pripojenie PROFINET, Industrial ethernet, Modbus TCP
- Externé napájanie 24VDC
- Led diagnostika a signalizácia aktivity jednotlivých portov

Katalógové označenie : 6GK7 277-1AA00-0AA0 [17]

### 2.9.8 SITOP PSU200M

Sitop je rada modulárnych zdrojov ktoré sú napájané z rozvodnej siete či už jednofázovo, dvojfázovo alebo trojfázovo. Výstupné napätie je regulovateľné potenciometrom. Výstup je galvanicky izolovaný. [18]



Obrázek 1.7: Blokový diagram použitého zdroja SITOP PSU200M

## 3 Meranie teploty

### 3.1 Tepelná pohoda

Najčastejšie používaným ukazovateľom tepelnej pohody je teplota vzduchu - je to jednoduchý vzťah a väčšina ľudí sa s tým stotožňuje. Avšak teplota vzduchu samotná by nemala byť jediným ukazovateľom tepelnej pohody. Vždy by mala byť použitá vo vzťahu k iným charakteristickým vlastnostiam priestoru alebo osôb:

#### 3.1.1 Teplota vzduchu

Toto je teplota vzduchu ktorá obklopuje ľudské telo. Väčšinou sa udáva v °C.

#### 3.1.2 Teplota vyžarovania

Tepelné žiarenie je energia ktorá vyžaruje z teplého objektu. Sálavé teplo predstavuje zdroj tepelnej energie v priestore.

Tepelné žiarenie má väčší vplyv na našu tepelnú stratu/zisk ako samotná teplota vzduchu.

#### 3.1.3 Prúdenie vzduchu

Popisuje rýchlosť vzduchu ktorý sa pohybuje okolo osoby a môže pomôcť s ochladením keď je vzduch chladnejší ako okolie.

- stojatý alebo veľmi pomalý pohyb vzduchu v budovách môže spôsobiť pocit preplnenia budovy alebo spôsobiť nahromadenie zápachov
- pohybujúci sa vzduch v teplom alebo vlhkom prostredí môže zvýšiť tepelnú stratu bez zmeny teploty
- fyzická aktivita takisto zvyšuje pohyb vzduchu, takže rýchlosť vzduchu by mala byť korigovaná podľa množstva fyzickej aktivity
- aj malé pohyby vzduchu v studených priestoroch môžu byť vnímané ako prievan a väčšina ľudí je na tento jav citlivých.

#### 3.1.4 Vlhkosť vzduchu

Voda sa pri zohrievaní vyparuje do okolitého prostredia a výsledné množstvo odparenej vody je vlhkosť. Relatívna vlhkosť vzduchu je pomer medzi aktuálnym množstvom vlhkosti vo vzduchu a maximálnym množstvom pri danej teplote. Relatívna vlhkosť medzi 40-70% nemá výrazný vplyv na tepelnú pohodu. V miestnostiach kde nie je nainštalovaná klimatizácia, alebo kde vonkajšie počasie môže ovplyvniť vnútorné podmienky, relatívna vlhkosť môže byť vyššia ako 70%. Vlhkosť vo vnútorných priestoroch sa môže značne líšiť ak je v miestnosti napríklad sušička alebo sporák. V priestoroch kde je vysoká vlhkosť je možné, že táto vlhkosť bude zabráňovať odparovaniu potu z kože čo je hlavným spôsobom termoregulácie človeka.

### 3.1.5 Oblečenie

Tepelná pohoda je veľmi závislá od izolačných vlastností oblečenia osoby. Nosenie veľkého množstva oblečenia alebo osobných ochranných pracovných prostriedkov môže mať za následok tepelnú záťaž pre organizmus aj keď prostredie nie je považované za teplé alebo horúce. Keď oblečenie naopak neposkytuje dostatočnú izoláciu v studenom prostredí, osoba môže byť vystavená riziku zranenia z chladu ako sú ľadové popáleniny alebo hypotermia. [1]

## 3.2 Spôsoby zaistenia tepelnej pohody

Prvou podmienkou dosiahnutia tepelnej pohody v budove je správne navrhnutie systému kúrenia, chladenia a ventilácie už pri projektovaní domu. Úprava alebo dodatočná montáž týchto systémov nemusí byť vždy možná.

### 3.2.1 Spôsoby vykurovania

- Teplovzdušné kúrenie (Fancoil)
- Teplovodné kúrenie (Radiátory)
- Elektrické vykurovanie (Konvektory)
- Podlahové kúrenie teplovodné alebo elektrické
- Vykurované / chladené steny alebo stropy

### 3.2.2 Vetranie

- Rekuperačné jednotky
- Stropné ventilátory

### 3.2.3 Klimatizácia

Tento pojem zahŕňa aj malé klimatizačné jednotky montované na stenu, do okna alebo pod parapet. Tieto zariadenia pracujú na princípe zmeny skupenstva a sú to v princípe tepelné čerpadlá. Odoberajú teplo vnútornému vzduchu a odovzdávajú ho vonkajšiemu. Malé jednotky väčšinou pracujú iba v jednej miestnosti. Okrem teploty dokážu regulovať aj vlhkosť vzduchu a tak je potrebné zaistiť aj odvod kondenzátu z vnútornej/vonkajšej jednotky. Väčšie klimatizačné jednotky či už typu Multi-split (viacero vnútorných jednotiek a jedna vonkajšia) alebo priemyselné jednotky ktoré sa montujú do stropov a výstupov vzduchotechniky. Tieto veľké jednotky dokážu ochladiť/vykúriť celé poschodie alebo aj dom. [10]

### 3.2.4 Tepelná izolácia

Tomuto spôsobu sa v dnešnej dobe prikladá veľká váha, pretože kvalitná izolácia dokáže veľmi ovplyvniť celkovú energetickú náročnosť budov. Kvalitná izolácia však sama o sebe pre splnenie maximálnych tepelných strát uvádzaných v norme TNI 73 0329 nestačí. Je nutné zabezpečiť nepriepustnosť stavebných konštrukcií aby sa zamedzilo neriadenému prúdeniu vzduchu.

## 4 Meranie koncentrácie oxidu uhličitého

Pre človeka je oxid uhličitý neškodný plyn bez farby a zápachu. Je to plyn ktorý vydychujeme, ktorý tvorí bublinky v našich nápojoch, krycí plyn na zváranie a dokonca ho používame aj na hasenie požiarov (snehový hasiaci prístroj). V zemskej atmosfére je jeho koncentrácia približne 400ppm (jednotka používaná v medzinárodnej literatúre na vyjadrenie koncentrácie - 1ppm znamená jedna častica z milióna). Vyššie hodnoty oxidu uhličitého sú zvyčajne v blízkostiach rušných ciest, priemyselných parkov alebo otvoreného ohňa. Zvýšené hodnoty oxidu uhličitého v uzavretých budovách bývajú väčšinou spôsobené jej obyvateľmi. V priemernom výdychu dospelého človeka je približne 35 000 až 50 000 ppm oxidu uhličitého - viac ako stonásobok v porovnaní s vdychovaným vzduchom. Bez adekvátneho vetrania na zníženie koncentrácie oxidu uhličitého by sa mohla jeho koncentrácia stať škodlivou.

### 4.1 Dôvod potreby merania koncentrácie oxidu uhličitého

Väčšina vykurovacích ventilačných a klimatizačných jednotiek recykluje väčšinu vzduchu vo vnútri budovy na zachovanie komfortu a zníženie spotreby energií spojené s zohrievaním alebo chladením vonkajšieho vzduchu. Keď obyvatelia cítia vzduch ktorý prichádza z ventilácie je prakticky nemožné rozoznať recyklovaný vzduch od toho vonkajšieho. Dnešná technológia nám však umožňuje jednoduché a relatívne aj nízko nákladové meranie koncentrácie oxidu uhličitého. Táto hodnota slúži na výpočet potrebného množstva vonkajšieho vzduchu ktorý musí byť primiešaný aby sa zachovala požadovaná kvalita vzduchu v miestnostiach. Presnosť väčšiny komerčne používaných snímačov je dostatočná na použitie pri regulácii vetrania. Niektoré moduly dokonca ponúkajú viacero funkcií ako je teplota, vlhkosť a aj nežiaduce plyny ako napríklad jedovatý oxid uhoľnatý alebo uhlíkovodíky.

#### 4.1.1 Vplyv zvýšenej koncentrácie oxidu uhličitého na človeka

Koncentrácie oxidu uhličitého vo väčšine regulovaných budov je značne nižšia ako odporúčaná maximálna hodnota 5000ppm (vážený priemer pre osemhodinový pracovný čas a štyridsaťhodinový pracovný týždeň) pre pracovné priestory. Aj keď koncentrácie pod 5000ppm sú považované za neškodné pre zdravie človeka, skúsenosti hovoria, že niektorí jednotlivci môžu pociťovať únavu, letargiu a pocit vydýchaného vzduchu aj pri tejto koncentrácii.

Preto sa vo väčšine regulovaných budov udržiava pod 1000ppm. Samozrejme vonkajšia koncentrácia značne ovplyvňuje ľudské vnímanie kvality vzduchu, preto sa zaviedlo ďalšie pravidlo - vnútorná koncentrácia oxidu uhličitého by nemala byť vyššia o viac ako 600ppm. Pri hodnotách 1000-2000ppm mávajú niektorí ľudia pocit malátnosti a vydýchaného vzduchu. Ak je hodnota 2000-5000ppm môžu sa objavovať poruchy sústredenia, bolesti hlavy a ospalosť. Hodnoty vyššie ako 40 000 sú nebezpečné a bezprostredne škodlivé. Dochádza k nedostatku kyslíku, strate vedomia a smrti.

## 4.2 Spôsob merania koncentrácie oxidu uhličitého

V mojom produkte budem používať snímač MH-Z19 od výrobcu Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. Jedná sa o miniatúrny senzor založený na NDIR (Non Dispersive InfraRed) princípe.

### 4.2.1 Princíp funkcie NDIR snímačov

Zdroj infračerveného žiarenia je usmerný cez trubicu ktorá je naplnená vzorkou vzduchu a na jej konci je umiestnený infračervený filter a snímač ktorý vyhodnocuje množstvo infračerveného žiarenia ktoré na neho dopadá. Vlnová dĺžka svetla generovaného zdrojom je 4.2 mikrometra čo je veľmi blízko absorpčnej vlnovej dĺžke CO<sub>2</sub> ktorá je 4,26 mikrometra. Pretože táto absorpčná vlnová dĺžka je unikátna pre molekulu CO<sub>2</sub> dá sa použiť ako jej špecifickú vlastnosť pre detekciu.

Keď CO<sub>2</sub> prechádza trubicou so vzorkou, molekuly CO<sub>2</sub> absorbujú špecifickú vlnovú dĺžku infračerveného žiarenia zatiaľ čo všetky ostatné vlnové dĺžky prechádzajú bez obmedzenia. Pred detekciou však žiarenie prechádza cez optický filter ktorý absorbuje každú vlnovú dĺžku okrem 4,2 mikrometra ktorá je ovplyvňovaná molekulami CO<sub>2</sub> v testovacej trubici.

Snímač vyhodnocuje zostávajúce množstvo žiarenia s vlnovou dĺžkou 4,2 mikrometra ktoré nebolo absorbované filtrom alebo molekulami CO<sub>2</sub> v testovacej trubici.

### 4.2.2 Spôsob výpočtu koncentrácie oxidu uhličitého

Rozdiel medzi množstvom žiarenia vydaného zdrojom a množstvom ktoré dopadne na snímač je priamo úmerný koncentrácii CO<sub>2</sub> v trubici. Keďže množstvo žiarenia vydané zdrojom zostáva konštantné, meria sa iba množstvo ktoré dopadne na snímač. Tento snímač generuje napätie v rádoch mikrovoltov. Niektoré snímače menia tento signál na bežný prúdový rozsah 4-20mA, niektoré používajú analógovo-digitálny prevodník ktorý je súčasťou tela snímača a ten prevedie analógovú veličinu na sériovú komunikáciu (RS485) alebo na PWM signál.

### 4.2.3 Vývoj snímačov koncentrácie oxidu uhličitého

Jednou z najskôr objavených metód merania obsahu CO<sub>2</sub> v 50-tych rokoch 17-teho storočia boli sklené trubice ktoré boli v tvare "U" a naplnené ortuťou pre meranie hmotnosti plynu. Keď bola známa teplota, tlak a objem suchého vzorku obsahujúceho CO<sub>2</sub> tak bolo možné vypočítať podiel molekúl CO<sub>2</sub> pomocou zákona ideálneho plynu. Aj keď boli ortuťové meradlá veľmi presné, merania obsahu CO<sub>2</sub> v jednej vzorke mohlo trvať hodiny. Preto keď sa vedci začali viac zaujímať o zmeny v zemskej atmosfére bol v roku 1958 vyvinutý snímač založený na NDIR princípe ktorý bol následne skalibrovaný pomocou ortuťového merača. Avšak molekuly CO<sub>2</sub> neabsorbujú veľa žiarenia preto musel byť tento snímač veľký. Prvý prototyp obsahoval trubicu so vzorkou vzduchu dlhú 40cm. Čím dlhšia trubica tým presnejšie je meranie. Prelom vo výrobe menších snímačov prišiel v roku 1993 kedy spoločnosť SenseAir AB predstavila senzor so zahnutou optikou a metalizovanou plastovou komorou ktorá umožňovala odraz svetla aj v zahnutej trubici (vlnovode). Povrch s vysokou odraznosťou umožnil aby molekuly CO<sub>2</sub>

absorbovali rovnaké množstvo žiarenia ako pri rovnej trubici a používaním stále pokročilejšej optiky bolo možné snímače naďalej zmenšovať. Popri menších fyzických rozmeroch bola vyvinutá aj nová rada infračervených diód, ktoré umožnili značne znížiť spotrebu snímačov. Spolu s použitím fotodiódy ako snímača bolo možné znížiť spotrebu miniatúrnych snímačov až na 3mW čo je v porovnaní s tradičnými zdrojmi ktoré mali spotrebu 50-200mW obrovská výhoda. Takisto použitím polovodičov sa výrazne predĺžila životnosť.

Už roky sa vyrábajú prístroje pre detekciu zloženia plynov na princípe Foto-Akustickej spektroskopie alebo v skratke PAS (Photo-Acoustic Spectroscopy). Táto technológia bola objavená už v roku 1880 kedy Graham Bell zaznamenal, že záblesky slnečného svetla na rôzne materiály vydávajú počuteľný zvuk. Keďže tento spôsob merania nezávisí na dĺžke vlnovodu, je možné pomocou MEMS ( Micro Electro Mechanical System) zrkadla a mikrofónu vytvoriť snímač ktorý bude schopný skúmať zloženie plynov. [11] [12]

#### 4.2.4 Snímač MH-Z19

Tento snímač má vstavanú tepelnú kompenzáciu, veľmi dobrú selektivitu a dlhú životnosť. Podporuje výstup pomocou sériovej zbernice alebo PWM. V mojom projekte budem používať rozhranie PWM. Rozsah je nastaviteľný 0-2000 alebo 0-5000ppm. Základné nastavenie je 0-2000ppm a s týmto nastavením budem pracovať. Sériovú zbernicu som nepoužil, pretože by bolo potrebné priviesť kvalitnejší dátový kábel ku každému meraču a pridať do zapojenia mikroprocesor ktorý by získaval dáta a posielal ich pomocou protokolu Modbus cez RS485 do PLC.

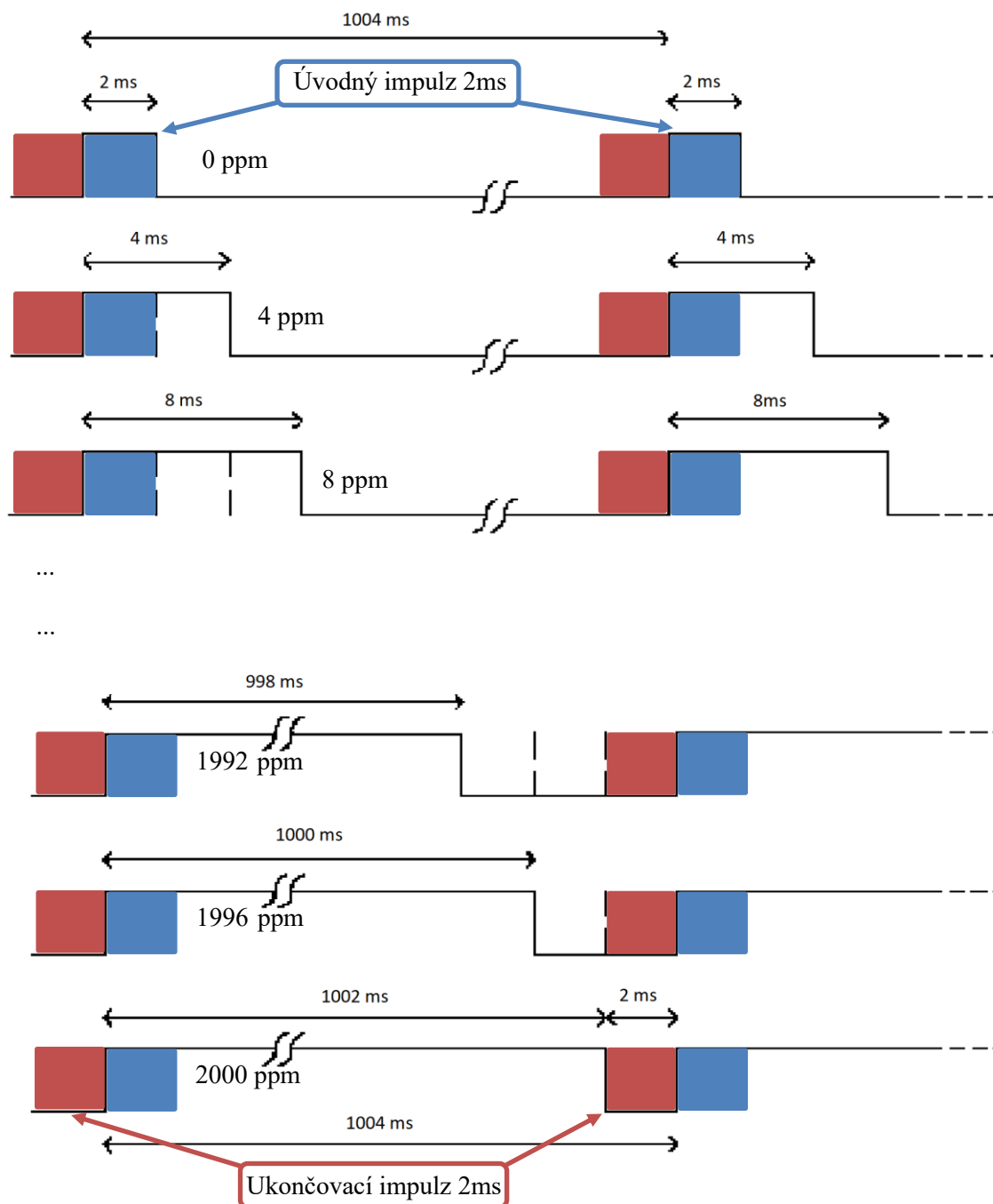
#### 4.2.5 Parametre PWM

Podľa týchto parametrov budem vypočítavať v PLC výslednú koncentráciu.

Rozsah	0 ppm-2000 ppm
Periódá	1004 ms $\pm$ 5%
Stav "HIGH" na začiatku cyklu	2 ms $\pm$ 5%
Stav "LOW" na konci cyklu	2 ms $\pm$ 5%
Čas cyklu zodpovedajúci koncentrácii	1000 ms $\pm$ 5%

Tabulka 1.2: Parametre PWM výstupu senzoru MH-19 udávané výrobcom

Na vyhodnotenie PWM signálu zo senzora budem používať vysokorýchlostné čítače v PLC. Budem pri tom vychádzať z datasheetu snímača ktorý som stiahol zo stránky výrobcu a prikladám ho do príloh. V datasheete je tento signál popísaný nasledovne :



Obrázek 1.8: Grafické znázornenie PWM signálu [14]

Datasheet s podrobnejšími informáciami je v prílohe (B)

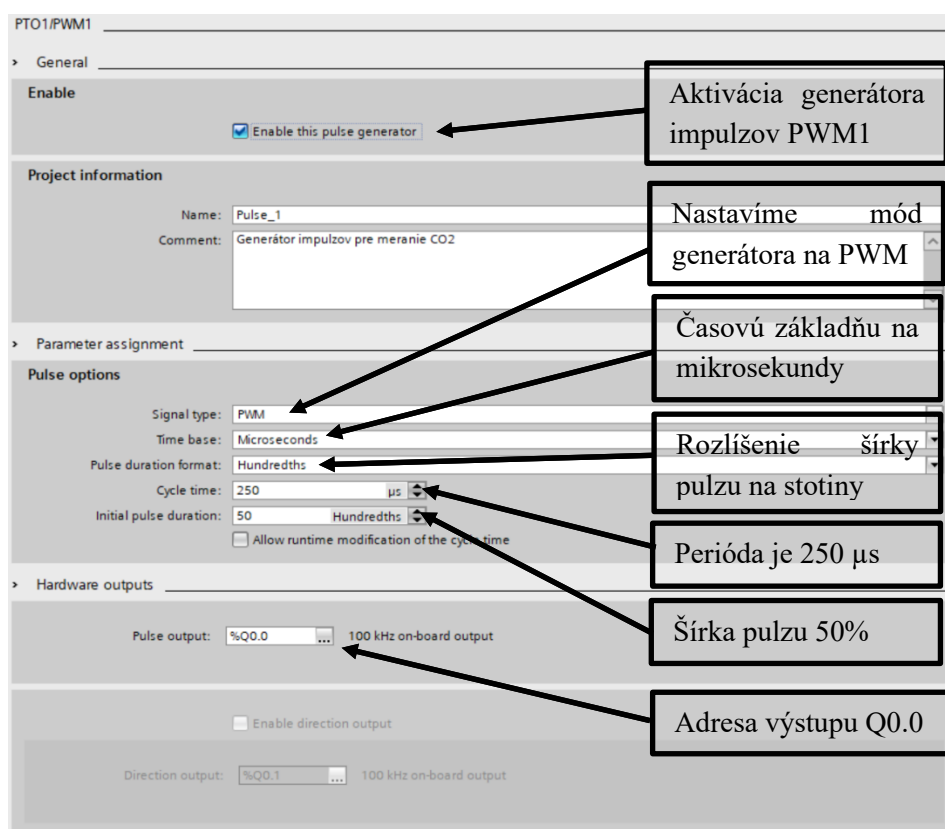
## 4.3 Vyhodnotenie PWM pomocou PLC

### 4.3.1 Nastavenie generátoru impulzov

Ako vstup pre čítač budem používať generátor impulzov. Ten nám bude udávať vzorkovaciu frekvenciu a tým pádom aj rozlíšenie. Použijem teda jeden zo vstavaných výstupov priamo na PLC s adresou Q0.0. Frekvenciu treba voliť rozumne z ohľadom na rozlíšenie snímača. Aj 1000ms zodpovedá 2000 ppm pre rozlíšenie 1 ppm bude platiť vzťah:

$$T = \frac{T_{\text{výstupná}}}{\text{Rozsah}} = 0,5 \text{ ms/ppm} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = 2000 \text{ Hz} \quad (4.1)$$

Táto frekvencia by už bola začne nad možnosťami rozširovacích kariet a čítačov ktoré rátajú spolu so skenom CPU ktorý sa pohybuje nad 1 ms. Takže keď podľa vzorkovacieho zákona by sme mali použiť vzorkovaciu frekvenciu minimálne 2x vyššiu ako je frekvencia vzorkovaného signálu nastavíme teda čítač na 4kHz. Nie je dobré voliť okamžite najvyššiu možnú frekvenciu, pretože budú prevodníky viac náchylné na rušenie a budú samy rušenie aj generovať.

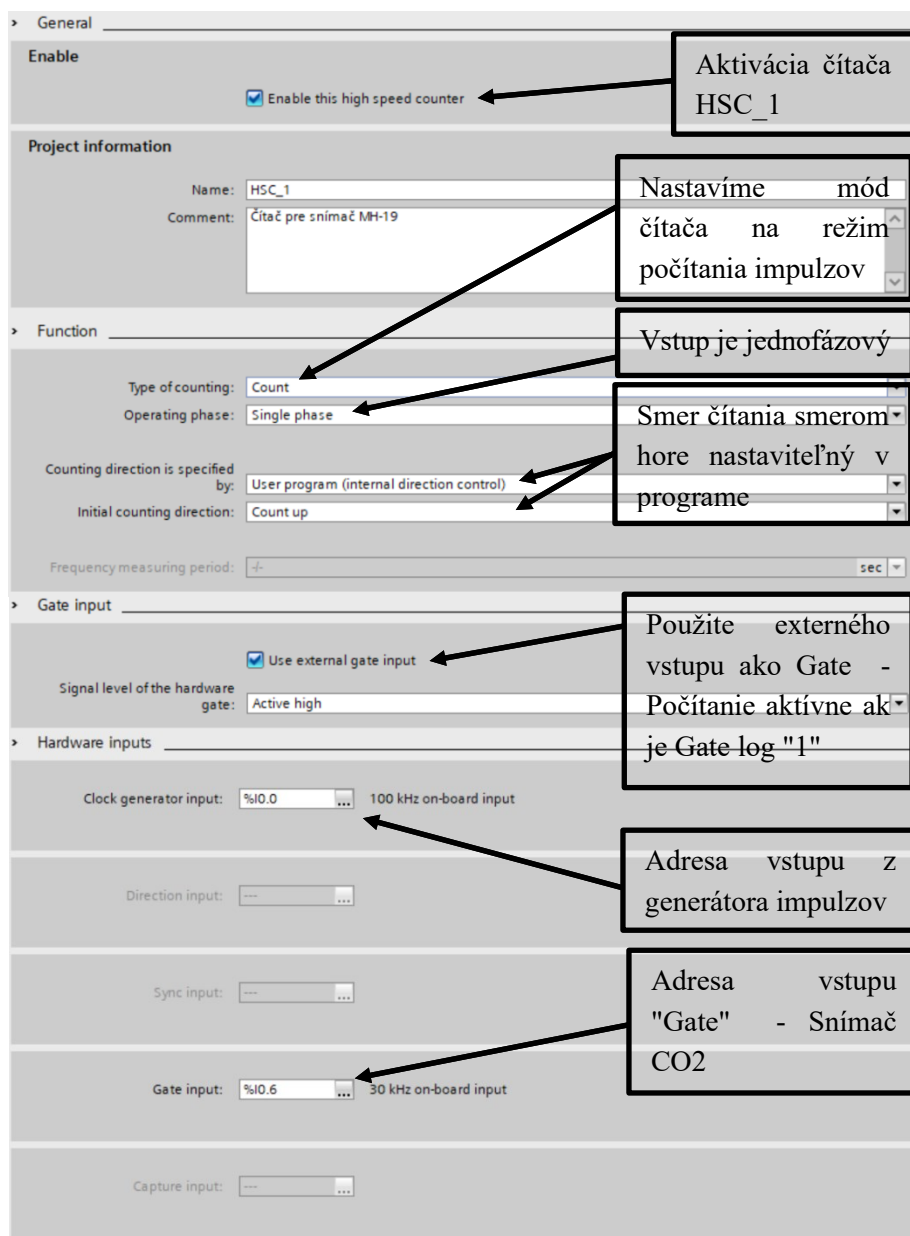


Obrázek 1.9: Nastavenie generátora impulzov pre meranie CO2



### 4.3.2 Nastavenie čítača

Druhou časťou hardwarovej konfigurácie je čítač impulzov. Tento čítač bude nakonfigurovaný tak aby počítal iba smerom nahor a iba ak bude vstup "Gate" aktívny. Takže vstupom čítača bude generátor impulzov popísaný v predošlej kapitole a vstupom "Gate" bude výstupný signál nášho snímača. Čítač dokáže pracovať až do 100kHz a Gate do 30kHz čo plne postačuje pre našu aplikáciu. Nastavenie čítača bude teda vyzeráť nasledovne :



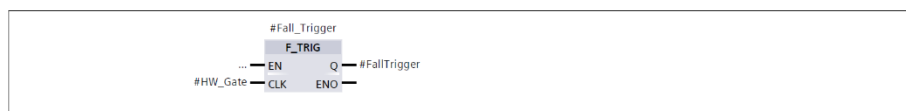
Obrázek 1.10: Nastavenie čítača pre meranie CO2

### 4.3.3 Program v PLC

Program v PLC som napísal v programovacom jazyku FBD. Celý cyklus je regulovaný pomocou Gate, takže výstupom nášho snímača. V rámci zachovania jednoduchosti som neimplementoval hlásenia o stave ako napríklad: časový odpočet nahrievania snímača a chybové hlásenia. Tieto dve funkcie by pridali ďalších 5-6 networkov. Program teda vyzerá nasledovne:

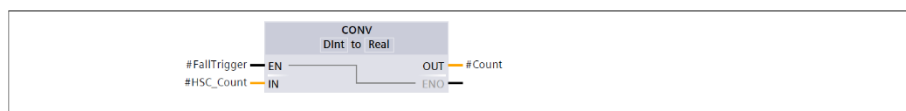
#### Network 1: Fall trigger for gate

Sensing off-edge for gate



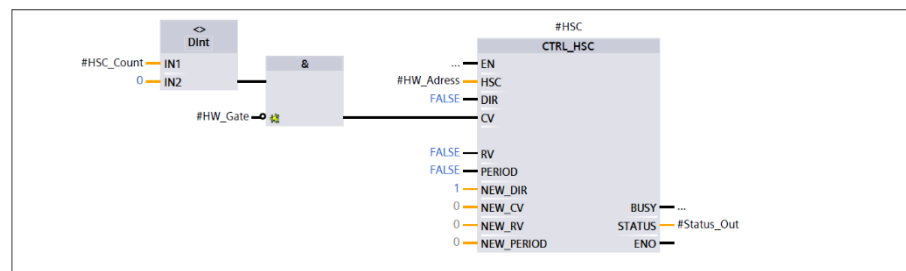
#### Network 2: Converting from HSC Dint to Real

Moving actual value from HSC to static variable



#### Network 3: CTRL\_HSC

High speed counter reset



#### Network 4: Convert pulses to milliseconds

Period of signal is 0.25ms (4kHz)



#### Network 5: Subtract starting pulse 2ms

Substracting NH\_19 2ms start



#### Network 6: Convert time to ppm

1 ms = 2ppm



Obrázek 1.11: Ukážka programu CO2\_Meter (FB3)

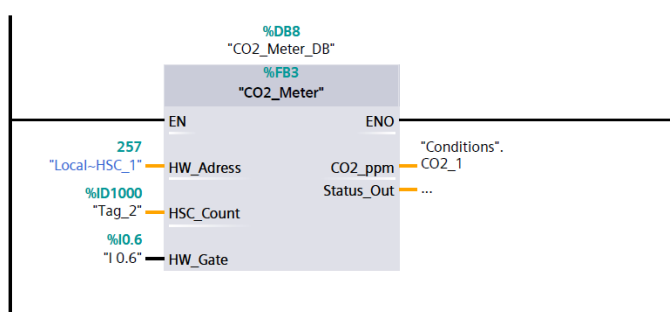
#### 4.3.4 Popis funkčného bloku

- Network č.1: čaká na dobežnú hranu signálu Gate. Keď prejde táto premenná z hodnoty 1 do hodnoty 0 statická premenná FallTrigger sa aktivuje.
- Network č.2: premenná FallTrigger spustí konverziu premennej HSC\_Count z jej východzieho dátového typu Dint na statické premennú Count dátového typu real. Táto premenná obsahuje počet impulzov ktorý čítač zaznamenal počas doby kedy bol Gate aktívny.
- Network č.3: obsahuje konfiguračnú funkciu pre prácu s vysokorýchlostným čítačom.. Z tejto funkcie používam len tri vstupy. HSC- Hardwarová adresa (vstup do FB) CV- (Counter Value) tento vstup po aktivovaní zapíše hodnotu zo vstupu NEW\_CV do aktuálnej hodnoty čítača. Z logického hľadiska tento network vynuluje čítač vždy keď jeho aktuálna hodnota je viac ako 1 a gate bude zavretý.
- Network č.4: prepočítava počet pulzov na čas v milisekundách. Keďže vieme periódu generátora impulzov (0.25ms) tak jej vynásobením počtom pulzov načítaných čítačom získame čas ako dlho bol Gate aktívny.
- Network č.5: odčíta 2ms z úvodný impulz
- Network č.6: prepočíta zmeraný čas na ppm hodnotu

#### 4.3.5 Volanie funkčného bloku

Funkcia má nasledovné vstupy a výstupy:

- HW\_Adress - hardwarová adresa príslušného vysokorýchlostného čítača
- HSC\_Count - priama adresácia pre čítanie aktuálnej hodnoty čítača
- HW\_Gate - vstup pre snímač
- CO2\_ppm - výstupná hodnota CO2 v ppm
- Status\_Out - vyhradené pre budúce rozšírenie o diagnostiku



Obrázek 1.12: Ukážka volania programu CO2\_Meter (FB3)

## 5 Meranie teploty

Meranie teploty bude použité pre PID reguláciu teploty v miestnostiach pomocou vstavaného regulátora v PLC. Riešenie ktoré tu popisujem nie je najjednoduchšie a ani najelegantnejšie, je však cenovo dostupné. Prevedenie merania teploty sa teda môže značne líšiť podľa požiadaviek zákazníka.

### 5.1 Spôsob merania teploty

V tejto práci budem používať RTD (resistance temperature detector) snímače teploty. Tieto senzory pozostávajú z drôtu, ktorý je z čistého materiálu ako napríklad platina, nikel alebo meď, ktorý je namotaný na jadro s čo najmenšiu teplotnou kapacitou ako napríklad keramika alebo sklo. Od materiálu drôtu a od jeho menovitého odporu pri teplote 0°C. [5]

### 5.2 Typy použitých snímačov

V projekte budú použité snímače typu Pt100. Vybral som ich pretože sú najpoužívannejšie a takisto aj prevodníky sú veľmi dostupné. Oproti Pt1000 majú nižší vnútorný odpor a tým pádom sú nevhodné na pripojenie dlhšími trasami a iba dvomi vodičmi. Samozrejme pre radiaci systém S7-1200 sú dostupné špecializované analógové vstupy ktoré podporujú priamo pripojenie RTD, PTC, NTC alebo TC snímačov, avšak tieto rozširujúce karty sú finančne veľmi nákladné (približne dvojnásobná cena oproti bežným rozsahom ako 4-20mA alebo 0-10V). RTD snímače potrebujú konštantný zdroj prúdu, zosilnenie a linearizáciu aby bolo možné previesť hodnotu odporu ktorá je priamo úmerná teplote na lineárny výstup ktorý reprezentuje meranú teplotu. [6]

### 5.3 Prevodník

Použil som vyššie popísanú rozširujúcu kartu s analógovými vstupmi nakonfigurovanými na prúdový rozsah 4-20mA a pre úpravu signálu zo snímača som použil prevodník ktorý popisujem v tejto kapitole. Jedná sa o prevodník založený na integrovanom obvode od spoločnosti Texas Instruments s označením XTR105. Ako vstup je použitý bežný Pt100 snímač napojený trojvodičovou metódou, ale keďže bude snímač v rovnakej krabici ako prevodník, aj dvojvodičové zapojenie by bolo postačujúce. Rozsah teplôt je -200 až 800 °C a dolná aj horná hranica je nastaviteľná. V tomto prípade bude linearizovaný výstup prenášaný štandardnou dvojvodičovou prúdovou slučkou 4-20mA priamo do analógovej karty PLC. Tento obvod je zároveň touto slučkou napájaný, obsahuje ochranu proti prepätiu a keďže sa jedná o rozsah 4-20mA tak poskytuje aj diagnostiku pripojenia (alarm pre prerušenie vodiča/poruchu prevodníku). Výrobca udáva chybu merania v plnom rozsahu iba 0,135% čo predstavuje odchýlku najviac 1,35°C pri rozsahu 1000°C. Tento údaj je možný pri použití veľmi kvalitných pasívnych prvkov a následnej kalibrácii. My budeme však používať oveľa menší rozsah merania (0-50°C) takže chyba bude menej ako 0,1°C. Návrhy dosky plošných spojov, hodnôt pasívnych prvkov a certifikáty sú dostupné na stránkach výrobcu alebo v datasheete ktorý prikladám k práci. Pre

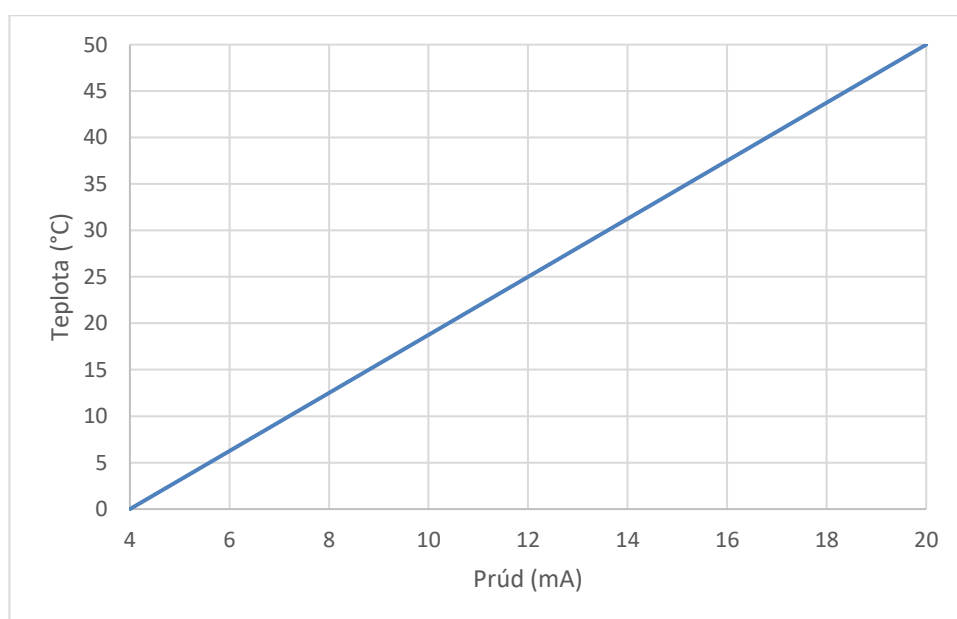
projektovanie v prostredí Eplan P8 som si vytvoril makro s grafickou ukážkou zapojenia . [7]  
 Datasheet s podrobnejšími informáciami je v prílohe (E)

### 5.3.1 Parametre signálu

Podľa týchto parametrov budem vypočítavať v PLC teplotu miestnosti.

Rozsah teploty	0-50 °C
Rozsah výstupu	4-20mA
Napájanie	Slučkou 4-20mA

Tabulka 1.3: Parametre prúdového výstupu prevodníka XTR105 udávané výrobcom



Obrázek 1.13: Grafické znázornenie výstupného signálu prevodníka

### 5.3.2 Eliminovanie rušenia

Keďže sa jedná o analógový signál mali by sme aplikovať pár základných pravidiel pre prenos analógového signálu:

- nepoužívať rovnaký zemný potenciál pre analógové a silové rozvody
- trasu volíme pokiaľ možno čo najkratšiu a čo najďalej od silových rozvodov
- pre prepojenie použijeme tienený kábel s točenými vodičmi
- použijeme vstupné filtre ak je to nutné
- snažíme sa vyhnúť vytváraniu slučiek

## 5.4 Nastavenie vstupov v PLC

V HW konfigurácii nastavíme:

- Power supply diagnostics - táto funkcia bude generovať hlásku keď nebude pripojené externé napájanie na túto kartu. Pri tejto chybe sa rozsvieti aj diagnostická LED na PLC.
- Noise Reduction - filtrovanie 1. Harmonickej siete (znižuje rušenie zo siete)
- Measurement type - druh merania - Prúdový
- Current range - rozsah: 4-20mA
- Smoothing - táto funkcia dokáže "vyhladiť" výslednú hodnotu merania tým, že nezapisuje každú hodnotu do process image ale napríklad priemer zo 4, 16 alebo 32 po sebe idúcich meraní. Týmto sa síce zníži rýchlosť merania ale keďže pri vykurovaní sú veľmi dlhé odozvy tak to nebude predstavovať žiadny problém.
- Broken wire diagnostics - generovanie hlásky pri prerušení prúdovej slučky (prúd nižší ako 4mA)
- Overflow diagnostics - chybová hláška pri prekročení meraného rozsahu (prúd vyšší ako 20mA)

The screenshot displays the configuration interface for a PLC module. It is divided into several sections:

- Module diagnostics:** Contains a checkbox labeled 'Enable power supply diagnostics' which is checked. Below it, a note states: 'Additional diagnostics may be selected for each input/output.'
- Analog inputs:** A section header with a horizontal line below it.
- Noise reduction:** Contains a dropdown menu for 'Integration time' set to '50 Hz (20 ms)'.
- Channel 0:** A section header with a horizontal line below it.
- Channel address:** A text box containing 'IW304'.
- Measurement type:** A dropdown menu set to 'Current'.
- Current range:** A dropdown menu set to '4...20 mA'.
- Smoothing:** A dropdown menu set to 'Strong (32 cycles)'.
- Diagnostics checkboxes:** Three checkboxes are located at the bottom: 'Enable broken wire diagnostics' (checked), 'Enable overflow diagnostics' (checked), and 'Enable underflow diagnostics' (unchecked).

Obrázek 1.14: Nastavenie analógového vstupu pre meranie teploty

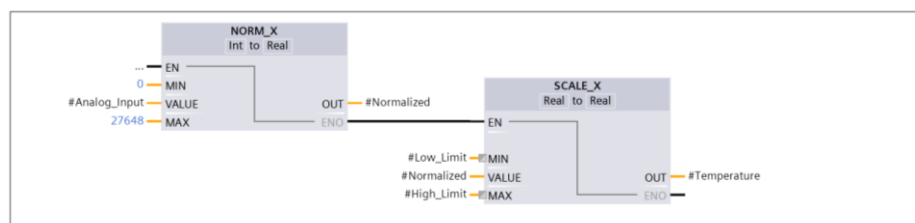
## 5.5 Spracovanie signálu v PLC

Na prevedenie surovej analógovej hodnoty na vstupe som vytvoril funkciu Temp\_Scale (FC1). Je veľmi jednoduchá a má iba jeden network. Ako vstup používam hodnotu z analógového vstupu (IW64) ktorá je v siemens standardne 0-27648. Nezáleží na vstupnom rozsahu alebo či sa jedná o prúdový, alebo napäťový vstup. Výsledná hodnota zapisovaná do process image je vždy v tomto rozsahu. Ďalej som sa rozhodol zapisovať aj rozsahy tepelného čidla ako vstupy popísané ako "Low Limit" - spodná hranica rozsahu a High\_Limit - horná hranica rozsahu.

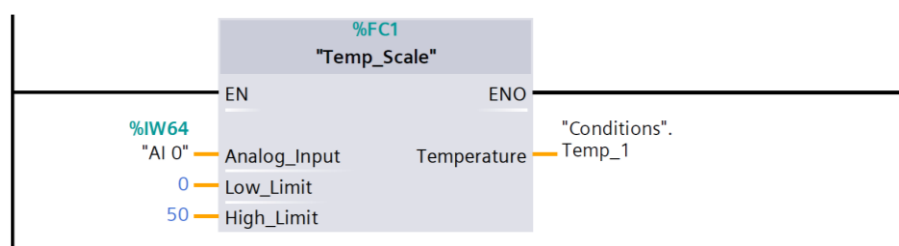
Ako prvú použijem inštrukciu NORM\_X ktorá normalizuje vstup na jednoduchý rozsah 0-1. Na výstupe je dôležité použiť dátový typ "Real" aby bolo možné zapisovať desatinné čísla. Výstup z tejto inštrukcie som nazval "Normalized" a zapísal do "Temp" čiže dočasnej pamäte (táto je platná iba počas jedného skenu). Následne použijem inštrukciu SCALE\_X, ktorá mi upraví vstupný rozsah 0-1 na mnou určený rozsah. Tento výsledok je výsledná teplota a teda výstup z funkcie. Tento výstup ďalej zapisujem do databloku ktorý som nazval "Conditions".

Network 1: Normalizing and scaling

Transform raw analog value to 0-1 and then scaling it to temperature range



Obrázek 1.15: Ukážka programu Temp\_Scale (FC1)



Obrázek 1.16: Ukážka volania funkcie Temp\_Scale (FC1)

## 6 Nútené vetranie a rekuperácia

Použil som rekuperačnú jednotku od firmy Vents. Tieto rekuperačné jednotky obsahujú vstavanú riadiacu jednotku ktorá ovláda otáčky motora, bypass ventil a ochranu výmenníka pred zamrznutím. Z hľadiska projektu je však použiteľná každá rekuperačná jednotka ktorá umožňuje ovládanie otáčok ventilátora analógovým signálom 0-10V. Ako rozšírenie tohto systému som pridal ovládacie klapky na otváranie a uzatváranie okruhov ventilácie. Takto bude možné regulovať vetranie v každej izbe zvlášť na základe koncentrácie CO2 alebo požiadavku obsluhy.

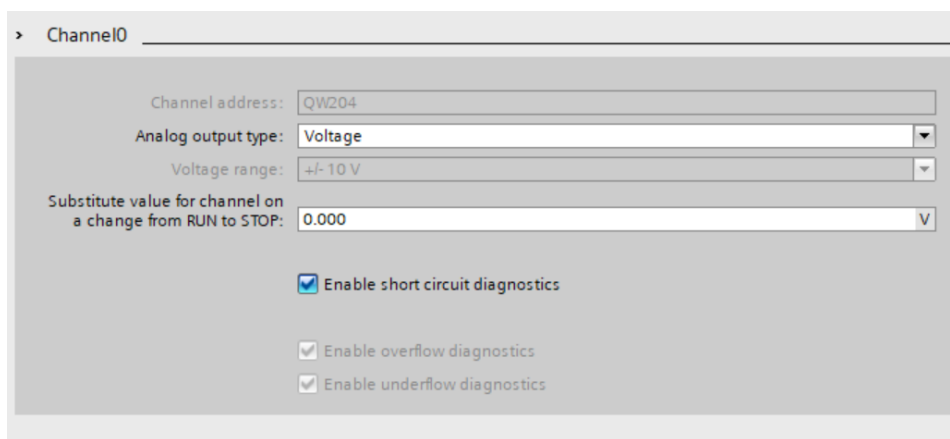
### 6.1 Ovládanie vetrania

Ovládanie vetrania sa bude skladať z dvoch častí. Na ovládanie ventilátora rekuperačnej jednotky a na ovládanie ventilov. Prietok sa bude ovládať automaticky (podľa obsahu CO2) a manuálne (funkcia "vyvetrať" alebo "vypnúť")

#### 6.1.1 Nastavenie výstupov pre ovládanie ventilátora

Analógový výstup bude nastavený do napäťového rozsahu:

- Short circuit diagnostics - diagnostika skratu vygeneruje hlásenie keď sa prekročí povolené zaťaženie výstupu.
- Substitute value - náhradná hodnota signálu ak by PLC bolo prepnuté do módu STOP. To znamená, že v prípade poruchy alebo chyby programu by na výstupe bola táto hodnota. Ja som zvolil 0 - Teda výstup bude vypnutý.



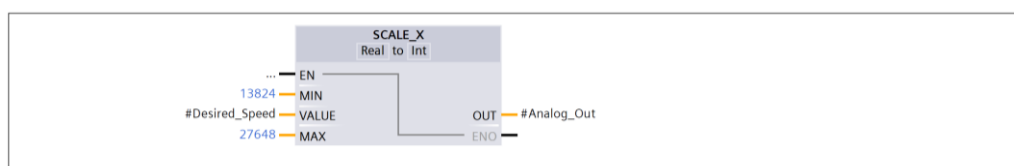
Obrázek 1.17: Nastavenie analógového výstupu pre ovládanie ventilátora rekuperačnej jednotky



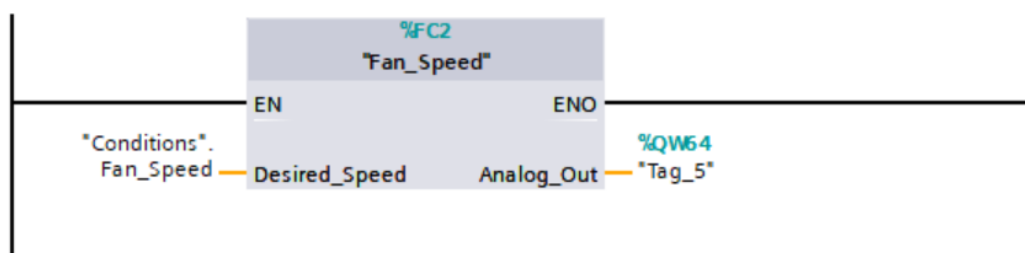
### 6.1.2 Spracovanie signálu v PLC

Táto funkcia je veľmi jednoduchá. Prevádza iba normalizovanú hodnotu 0-1 na rozsah pre výstupnú kartu. Jedna vec však stojí za pozornosť. Jedná sa o analógový výstup  $\pm 10V$  takže nemôžeme použiť rozsah 0-27648 pretože "0" predstavuje -10V a 27638 predstavuje +10V. Takže náš rozsah musíme začínať číslom ktoré je polovicou tohto rozsahu - 13824 aby sme mali na výstupe iba kladné napätie 0-10V.

Network 1: Scale value to analog out



Obrázek 1.18: Ukážka programu Fan\_Speed (FC2)



Obrázek 1.19: Ukážka volania funkcie Fan\_Speed (FC2)

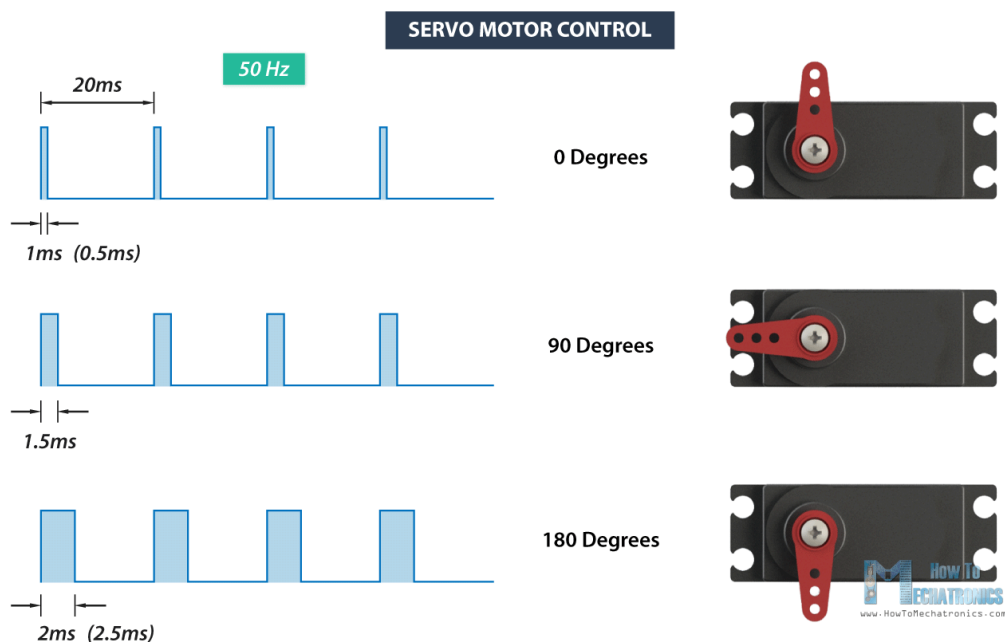
## 6.2 Ovládanie klapiek

Väčšina malých systémov rekuperácie ako napríklad na rodinných domoch nemáva elektronicky ovládané klapky. Používajú sa buď mechanické alebo žiadne a prietok sa reguluje otáčkami ventilátora v rekuperačnej jednotke. Ja som však volil trochu netradičný prístup. Na PLC zostávajú tri nepoužívané generátory pulzov tak som navrhol elegantné a hlavne značne lacnejšie riešenie spojitého ovládania klapiek. Použitie bude štandardné modelárske Servo ľubovoľného výkonu (limitované iba 24V poistkami). Tieto servá používajú ako vstup požadovanej polohy dĺžku impulzu. Túto je možné meniť dvomi spôsobmi a to:

- zmena frekvencie - strieda je rovnaká ale frekvencia sa mení a tým aj šírka pulzu
- zmena striedy - frekvencia je konštantná a mení sa strieda a tým priamo aj dĺžka pulzu. Zvolil som túto variantu, pretože servá majú relatívne nízku vstupnú frekvenciu (40-100Hz) a z môjho pohľadu programátora bolo toto riešenie jednoduchšie.

### 6.2.1 Princíp funkcie modelárskeho servopohonu

Vo vnútri každého modelárskeho serva sú štyri základné komponenty: DC motor, prevodovka, potenciometer a ovládacie obvody. Potenciometer je pripojený k výstupnej hriadeľi serva, takže keď sa otáča výstup otáča sa rovnako aj potenciometer, takže pomocou zdroja a napäťového deliča tvorí napätie ktoré je priamo úmerné natočeniu hriadele. V ovládacích obvodoch sa toto napätie porovná s požadovanou polohou udávanou vstupom. Ak je potrebné ovládací obvod potvrdí vstavaný tranzistorový polo most a otáča motorom pokiaľ sa rozdiel rovná nule. Servomotor je ovládaný sériou impulzov cez ovládací vodič. Frekvencia ovládacieho napätia by mala byť 50Hz alebo impulz každých 20ms. Šírka tohto pulzu vyjadruje uhol natočenia hriadele. Tieto servopohony majú limitovaný uhol natočenia (potenciometer).



Obrázek 1.20: Grafické znázornenie PWM ovládania serva [19]

## 6.2.2 Nastavenie generátoru impulzov

- Signal type: mód funkcie generátora impulzov - volíme PWM
- Time Base: časová základňa - určuje jednotky v ktorých budeme zadávať periódu
- Pulse duration format: toto je formát ktorým budeme určovať šírku pulzu. Tento formát je rovnaký aj pri zapisovaní do generátora z programu.
- Cycle time: nastavenie periódy generovaného signálu
- Initial pulse duration: nastavenie počiatočnej hodnoty striedy pri aktivácii čítača
- Allow untime modification of the cycle time: pridá ďalšie dve slová adresy generátora

The screenshot shows a software interface for configuring a pulse generator. It is divided into three main sections: General, Parameter assignment, and Hardware outputs.

- General:**
  - Enable:** A checkbox labeled "Enable this pulse generator" is checked.
  - Project information:**
    - Name:** Pulse\_2
    - Comment:** Ovládanie klapky
- Parameter assignment:**
  - Pulse options:**
    - Signal type:** PWM
    - Time base:** Microseconds
    - Pulse duration format:** Ten thousandths
    - Cycle time:** 20000  $\mu$ s
    - Initial pulse duration:** 1000 Ten thousa...
    - ☐ Allow runtime modification of the cycle time
- Hardware outputs:**
  - Pulse output:** %Q0.2 100 kHz on-board output

Obrázek 1.21: Nastavenie PWM výstupu pre ovládanie klapky

## 6.2.3 Výpočet dĺžky pulzu

Dĺžka pulzu je určovaná ako podiel dĺžky periódy. Ak sme určili periódu 20ms tak maximálna dĺžka pulzu bude 20ms. Množstvo dielov na ktoré sa perióda delí určuje hodnota Pulse Duration Format. V našom prípade sme zvolili hodnotu Ten thousands takže 20ms (20000 $\mu$ s) je rozdelená na 10 000 častí. Keďže my potrebujeme ovládať iba rozsah 1-2ms to znamená, že po prevedení potrebujeme do generátora zapísať hodnotu 500 (1ms) až 1000 (2ms).

### 6.2.4 Generovanie PWM v PLC

Z mechanických vlastností klapiek vyplýva, že pre ich kontrolu budeme potrebovať otáčať hriadeľom v rozmedzí 0-90°. Takže podľa jednoduchého vzťahu vypočítame, že budeme ovládať v rozsahu 500-750. To nám dáva 250 možných polôh regulácie. Tieto hranice sú však dané iba teoreticky, pretože každé servo, dokonca aj rôzne modely od rovnakého výrobcu, majú iný rozsah dĺžok pulzu a rozsahu natočenia.

$$PWM = \frac{\text{Cycle time}}{\text{Pulse duration format}} = \frac{20\,000}{10\,000} = 2 \quad (6.1)$$

Z tohto vzťahu vyplýva že jedna jednotka zapísaná do registra predstavuje 2μs. Takže ak je impulz dĺžky 1ms vyjadrený ako 0° tak minimálna hodnota bude:

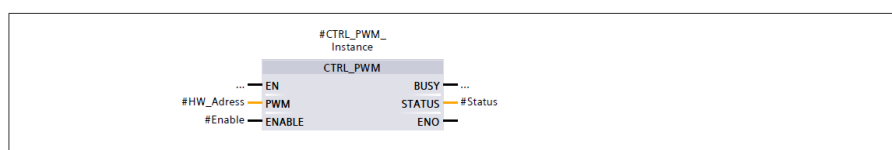
$$PWM = \frac{1000}{2} = 500 \quad (6.2)$$

Keď chceme aby sa servo otáčalo iba do 90°, tak maximálna hodnota PWM bude:

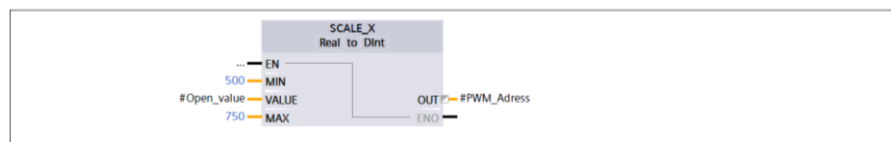
$$PWM = \frac{1500}{2} = 750 \quad (6.3)$$

### 6.2.5 Program v PLC

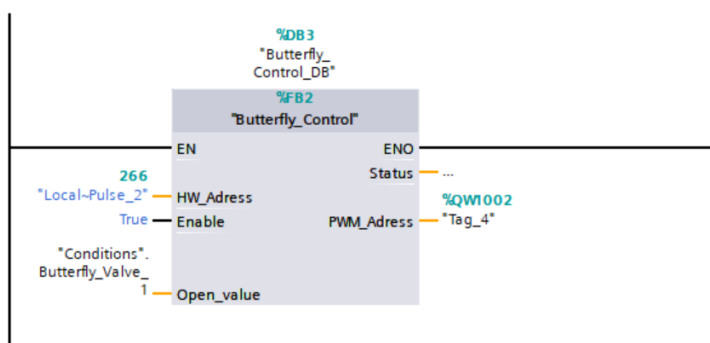
Network 1: Configuration of Pulse Generator



Network 2: Scaling output value



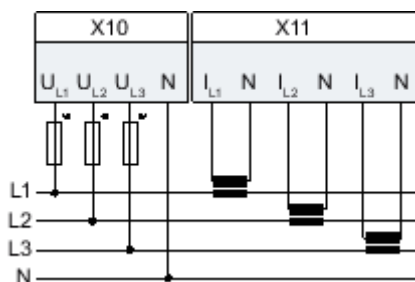
Obrázek 1.22: Ukážka programu *Butterfly\_Control* (FB2)



Obrázek 1.23: Ukážka volania programu *Butterfly\_Control* (FB2)

## 7 Meranie spotreby elektrickej energie

Meracia karta SM1238 bude zapojená podľa katalógového zapojenia 3P4W, takže trojfázová 4-vodičová sieť. Na meranie prúdu budú použité prúdové transformátory s prevodom 50A primárny a 5A sekundárny prúd. Meranie napätia bude zapojené priamo do karty.



Obrázek 1.24: Ukážka zapojenia 3P4W

### 7.1 Nastavenie siete

**Module parameters**

**AI configuration**

**Diagnostics**

☒ Line voltage diagnostics

Line voltage tolerance: 10 %

**Measurement**

Connection type: 3P4W 3-phase, 4-wire

Voltage measuring range: 230 V

Line frequency: 50 Hz

End value energy meter: Count periodically up to  $10^{15}$

☐ Activate energy meter gate

☐ Minimum and maximum value calculation

**Process data**

**Operating mode**

Module version: 2 bytes I/2 bytes O

Process data variant: (W#16#80)

Annotations:

- Diagnostika napätia v sieti - Vždy pri odchýlke  $\pm 10\%$  vygeneruje hlášku na HMI
- Typ zapojenia
- Menovité fázové napätie
- Menovitá frekvencia siete
- Maximálna hodnota čítača
- Rozsah vstupných a výstupných dát

Obrázek 1.25: Nastavenie rozhrania EnergyMeter

## 7.2 Nastavenie Analógových rozsahov

Tu nastavíme diagnostické hlásenia a parametre prúdových (CT) a napäťových (VT) transformátorov. Toto nastavenie treba zopakovať pre každú fázu zvlášť.

The screenshot shows the 'Inputs' configuration window for 'Line conductor 1'. It is divided into two main sections: 'Diagnostics' and 'Measurement'.

**Diagnostics Section:**

- ☒ Diagnostics overflow current
- ☒ Diagnostics overflow voltage
- ☐ Diagnostics underflow voltage
- ☐ Diagnostics of low limit voltage
- ☐ Diagnostics overflow cumulative values
- Tolerance value overcurrent: 100 0.1 A
- Tolerance time overcurrent: 40000 ms

**Measurement Section:**

- ☐ Operating hours counter
- ☐ Operating hours counter gate
- Current transformer primary current: 50 [A]
- Current transformer secondary current: 5 A
- Transformer primary voltage: 230 V
- Transformer secondary voltage: 230 V
- Low limit current measurement: 50 mA
- Reverse current direction: Deactivated

Annotations with arrows pointing to specific settings:

- Diagnostika nadprúdu (points to 'Diagnostics overflow current')
- Diagnostika prepätia (points to 'Diagnostics overflow voltage')
- Diagnostika podpätia (points to 'Diagnostics underflow voltage')
- Definícia nadprúdu - Hodnota a čas (points to 'Tolerance value overcurrent' and 'Tolerance time overcurrent')
- Primárny prúd CT (points to 'Current transformer primary current')
- Sekundárny prúd CT (points to 'Current transformer secondary current')
- Primárne napätie VT (points to 'Transformer primary voltage')
- Sekundárne napätie VT (points to 'Transformer secondary voltage')
- Táto funkcia umožňuje otočiť v SW smer prúdu pre daný vstup v prípade chyby zapojenia (points to 'Reverse current direction')

Obrázek 1.26: Ukážka nastavenia prevodníkov pre moje zapojenie

## 7.3 Spracovanie dát v PLC

Konfigurácia a spracovanie dát z tohto modulu je zložitá, v rámci práce ukážem teda iba príklad a najzákladnejšie veci, napr. aké hodnoty sa dajú merať, v akých rozsahoch a aké funkcie sa na to používajú. Program však má niekoľko funkcií funkčných blokov a datablokov, takže jeho obsiahnutie by bolo nad rámec tejto práce. Tiež jeho hlbší popis je v datasheetoch, ktoré poskytuje výrobca spolu so vzorovým programom, ktorý je možné stiahnuť a vyskúšať. Ako prvé sa musíme rozhodnúť či chceme k nameraným dátam pristupovať cyklicky (dáta čítať spolu s každým skenom procesora) alebo acyklicky pomocou funkcie ktorá nám tieto dáta vyčíta a zapíše vtedy keď dostane príkaz. V rámci zachovania jednoduchosti riešenia budem dáta čítať acyklicky a to pomocou inštrukcie "RDREC"

### 7.3.1 Inštrukcia RDREC

Jedná sa o inštrukciu ktorá umožňuje acyklickú komunikáciu. Inštrukcia RDREC je pre čítanie a existuje aj funkcia WRRWC ktorá slúži pre zápis, ale tú nebudeme v našom projekte používať. Pomocou tejto funkcie bude možné čítať dáta z merača energie bez vysokého zaťaženia procesora.

### 7.3.2 Dostupné dáta

Merač poskytuje veľké množstvo dát. Preto sú rozdelené do takzvaných "Data Sets" aby bolo možné k nim pohodlne pristupovať:

- DS 142: [Base measurements data record - read only](#) - tento Data set obsahuje všetky základné údaje o sieti. Registrov je spolu 214. Ja budem používať iba tento Data set pretože obsahuje všetko čo potrebujem
- DS 143: [Energy counters data record - read and write](#) - read and write - tento Data set umožňuje resetovať počítadlá do nenulovej hodnoty (zapísať do nich ľubovoľnú hodnotu), čítať hodnoty počítadiel, čítať koľkokrát počítadlá dosiahli maximálnu hodnotu alebo čítať prevádzkové hodiny zariadenia.
- DS 144: [Maximum values data record - read only](#) - read only - tento Data set obsahuje najväčšie namerané hodnoty po poslednom resetovaní.
- DS 145: [Minimum values data record - read only](#) - tento Data set obsahuje najmenšie namerané hodnoty po poslednom resetovaní.
- DS 147: [L1 phase-based values data record - read only](#) - tento Data set obsahuje všetky merania z predchádzajúcich registrov pre fázu L1
- DS 148: [L2 phase-based values data record - read only](#) - tento Data set obsahuje všetky merania z predchádzajúcich registrov pre fázu L1
- DS 149: [L3 phase-based values data record - read only](#) - tento Data set obsahuje všetky merania z predchádzajúcich registrov pre fázu L1
- DS 150: [Advanced measurements and status values - read only](#) - v tomto Data sete sú len údaje ako prevádzkové hodiny pre každú fázu alebo stav overflow registrov.

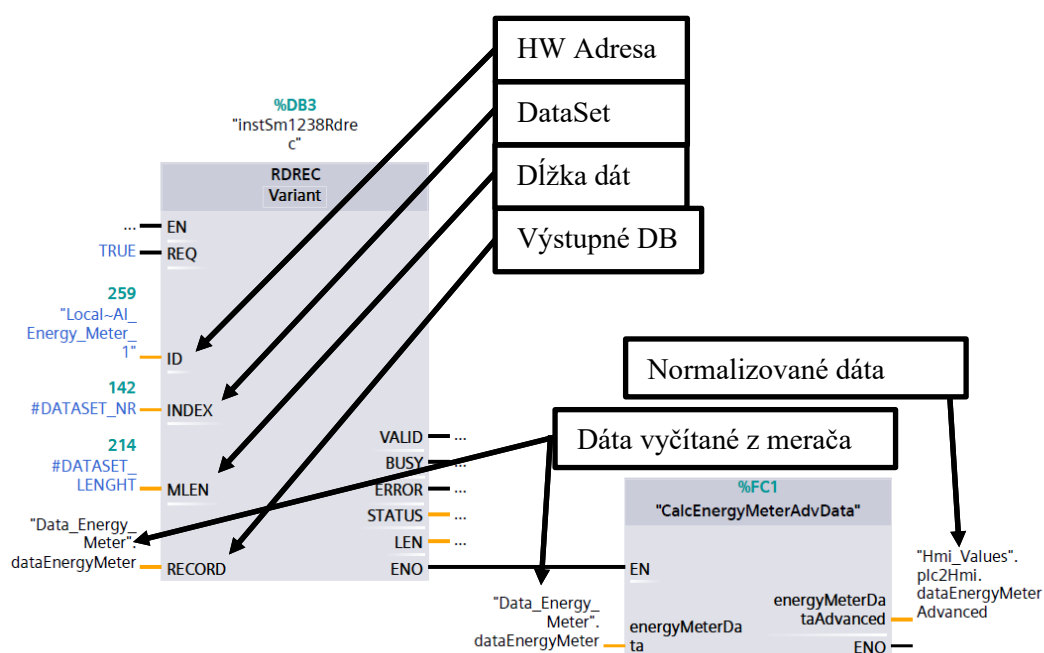
### 7.3.3 Čítanie dát

Pre čítanie dát použijem funkciu RDREC popísanú vyššie. Má tieto vstupy:

- REQ - tento vstup znamená požiadavku na čítanie dát
- ID - hardwarová adresa merača (prvá adresa v poradí)
- INDEX - označuje ktorý Data set chceme čítať (142)
- MLEN - dĺžka Data setu (214 pretože obsahuje 0-213 registrov)
- RECORD - cieľ, kam budú uložené vyčítané dáta.

### 7.3.4 Prevod jednotiek

Na tento účel je určená dostupná hotová funkcia priamo od výrobcu. Jej funkcia je však veľmi jednoduchá. Premieňa namerané hodnoty vo Wh na kWh a W na kW. Ešte dopočítava priemernú hodnotu fázového a združeného napätia a fázových prúdov. Tým mení aj dátový typ z "typeSM1238DS142" na "typeEnergyMeterAdvanced" pričom prvý vyjadruje surové dáta v základných jednotkách a druhý už upravené dáta pripravené na spracovanie. Tie sú ukladané v databloku s názvom HMI\_Values.



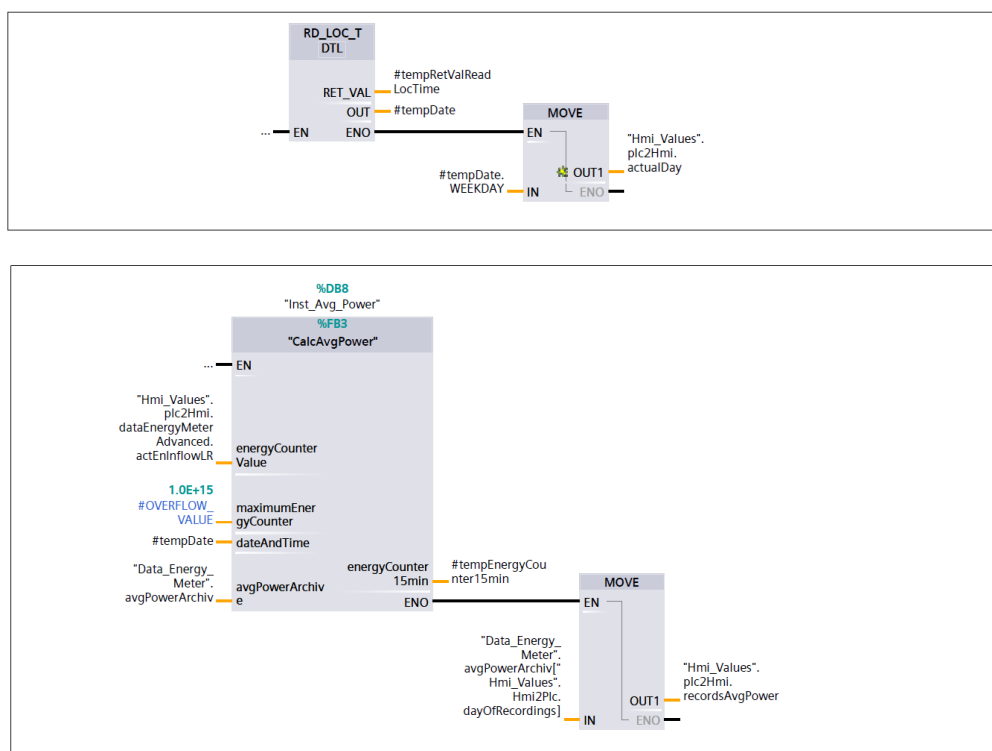
Obrázek 1.27: Ukážka volania RDREC a normalizácie jednotiek



### 7.3.5 Výpočet priemerného štvrťhodinového výkonu

Tento výpočet robím preto, aby som mohol ukladať tieto hodnoty do databloku a čítať ich z vizualizácie alebo napríklad z webservera. Výpočet sa vždy uskutočňuje o celej štvrťhodine teda v celú hodinu, o štvrť, o pol a o trištvrte. Najprv zistíme aktuálny čas pomocou funkcie RD\_LOC\_T, ktorá nám vyčíta systémový čas v nastavenom časovom pásme a zapíše nám ho vo formáte DTL - ten má v sebe už rozdelený dátum a čas do zvlášť buniek. Konkrétny deň v týždni zapíšeme do databloku pomocou funkcie MOVE.

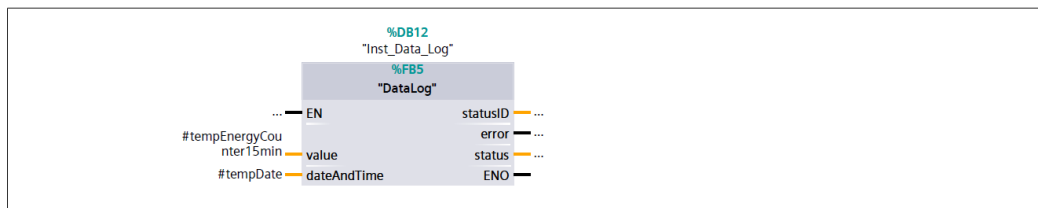
Priemerný výkon vypočítavame pomocou funkcie CalcAvgPower. Do tejto funkcie privedieme aktuálnu hodnotu počítadla, maximálnu nastavenú hodnotu počítadla (ak by prišlo k pretečeniu počítadla funkcia môže vypočítať výkon správne), časové údaje vo formáte DTL popísané vyššie, datablok kam sa zapisujú hodnoty a výstupom je nami požadovaný 15 minútový výkon.



Obrázek 1.28: Ukážka programu pre výpočet štvrťhodinového priemeru

### 7.3.6 Datalogging

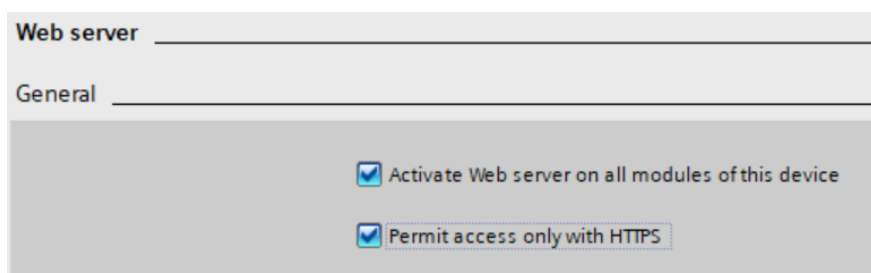
Dataloging je jednoduchý. Na jeho vytvorenie stačí použiť FB DataLog. Tento znovu potrebuje údaje o čase a hodnotu ktorú chceme zapisovať, to je všetko. Funkčný blok skontroluje či je už vytvorený log súbor, ak nie vytvorí nový ak áno pokračuje v tom vytvorenom. Na vytvorenie, čítanie alebo zapisovanie do databloku sú v PLC pripravené inštrukcie. FB ktorý popisujem ich všetky obsahuje a tým značne skraca čas potrebný na programovanie. Tento datalog bude prístupný iba z webserveru takže to bude ďalšia vec ktorú si ukážeme.



Obrázek 1.29: *Příklad pre DataLog*

### 7.3.7 Webserver

Všetky procesory z 1200/1500 rady obsahujú vstavaný webserver. Ukážeme si ako ho nastaviť aby sme mohli sťahovať log z PLC. Najprv musíme webserver povoliť v HW konfigurácii PLC.



Obrázek 1.30: *Aktivácia WebServer*

Samotná aktivácia webserveru však nestačí. Je potrebné vytvoriť stránku v programovacom jazyku HTML a v PLC volať funkciu WWW s príslušným DB. Je to zložitý proces. Ak však nepotrebujeme grafické rozhranie a chceme len stiahnuť log súbor môžeme použiť priamy prístup. Na toto potrebujeme mať v PLC firmware 4.1 a vyšší a byť s počítačom na rovnakej sieti ako plc. Vtedy stačí do prehliadača zadať:

<https://192.168.0.1/DataLogs/EnergyCounter.csv>

IP Adresa musí byť zhodná s IP adresou nastavenou v PLC. Ak je všetko správne nakonfigurované, do počítača sa vám stiahne tento log súbor.

Datasheet s podrobnejšími informáciami je v prílohe (D).

## 8 Meranie spotreby tepelnej energie

### 8.1 Merač UH50

Na meranie spotreby tepelnej energie som použil ultrazvukový merač tepla od firmy Siemens s označením UH50. Umožňuje meranie toku tepla či už do budovy (kúrenie) alebo z budovy (chladenie) a ich zapisovanie do samostatných registrov. Ako názov napovedá, prietok vody meria ultrazvukovým snímačom a preto nepredstavuje žiadnu reštrikciu v rozvode. Toto bolo pre mňa dôležité, pretože máme systém podlahového kúrenia a čerpadlo ku kotlu je poddimenzované. Jeden snímač teploty je umiestnený priamo na snímači prietoku a ten je umiestnený na spiatočnom potrubí aby nebol snímač prietoku zbytočne tepelne zaťažovaný. Druhý snímač je umiestnený na výstupe z kotla. Pre komunikáciu s meračom som si zvolil Pulzné rozhranie. Konkrétne sa jedná o rozširovaciu kartu WZU-P2.

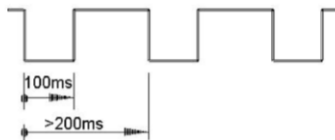
### 8.2 Princíp prenosu dát

Pulzná karta umožňuje dva typy výstupu. Rýchly, kde maximálna rýchlosť pulzov predstavuje 33Hz - tento je vhodný pre procesy kde sa vyžaduje regulácia. Pomalý, kde je perióda približne 200ms. Ja budem používať pomalý mód a budem ho čítať bežným vstupom PLC. Signál vyzerá nasledovne:

#### Pulses for energy, volume, and tariff register

Period duration >200 ms

Pulse duration: 100 ms conducting



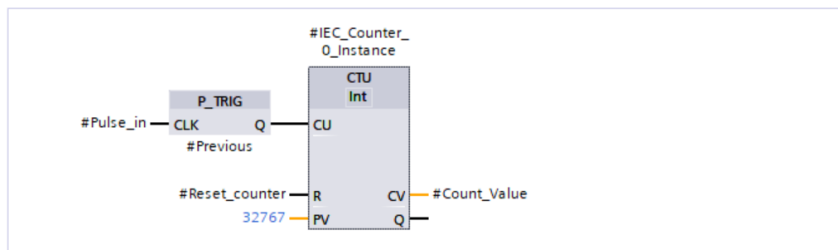
Obrázek 1.31: Ukážka pulzného výstupu kalorimetra [22]

Merané jednotky a veličina ktorá sa prenáša týmito pulzami je nastaviteľná. Mňa zaujíma iba údaj o spotrebe tepla, takže ak bude jeden pulz predstavovať 1kWh tepelnej energie a môj kotol má menovitý výkon 14kW, tak by som mal pri plnom výkone narátať iba 14 impulzov za hodinu. Vzhľadom na parametre impulzu (čas zapnutia 100ms) meranie v hlavnom skene bude dostačujúce ak čas skenu nepresiahne približne polovicu tohto času. Ak by bol užívateľský program veľmi zložitý a obsahoval veľké množstvo periférií a komunikácií, tak by bolo potrebné použiť cyklické prerušenie a počítanie energie presunúť tam. V mojom prípade je pri plnom zaťažení na 1214C čas cyklu približne 5-10ms takže odpočet bude volaný v hlavnom skene OB1.

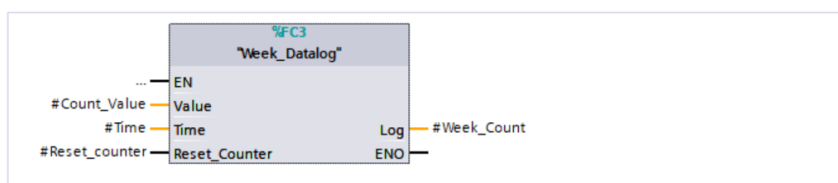
Datasheet s podrobnejšími informáciami je v prílohe (F)

### 8.3 Popis programu

Program spočíva v počítaní počtu nábežných hrán (jednotiek kWh) a v ukladaní ich počtu do databloku pre každý deň zvlášť. Ukladanie dát funguje ako kruhový register takže dáta sa každý deň prepisujú.



Obrázek 1.32: Ukážka programu pre počítanie kWh



Obrázek 1.33: Ukážka programu pre zapisovanie do registra

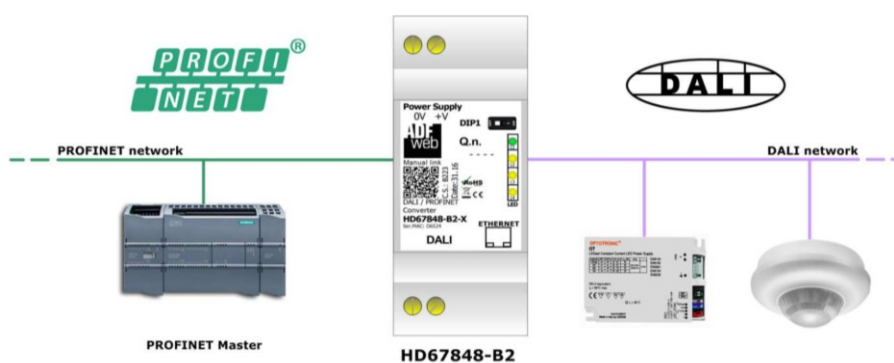
Program pre zápis do registra funguje tak, že každý deň o 23:59 zapíše aktuálnu hodnotu čítača do príslušného dňa. Keď je zápis úspešný tak sa počítadlo resetuje. Pre toto zapisovanie dát som si vytvoril vlastný dátový typ ktorý sa volá Week\_Count. Jeho štruktúra vyzerá nasledovne:

	Name	Data type
1	Monday	Int
2	Tuesday	Int
3	Wednesday	Int
4	Thursday	Int
5	Friday	Int
6	Saturday	Int
7	Sunday	Int

Obrázek 1.34: Dátový typ Week\_Count

## 9 Osvetlenie

Osvetlenie je riešené pomocou DALI zbernice. Jedná sa o komunikačný protokol ktorý sa využíva na komunikáciu medzi osvetľovacou technikou. Na PLC je pripojený Profinet/Dali interface pomocou ktorého je možné komunikovať s touto zbernicou. Svetlá majú predradníky ktoré pracujú s touto zbernicou. Pre pripojenie vypínačov som zvolil moduly DALI vstupov od firmy EATON. Vypínače sú štvorbodové. Pri stlačení vypínača sa vyšle telegram na zopnutie svetla. Predradník v rovnakej skupinovej adrese túto správu zaznamená a zapne svetlo. Avšak vďaka prevodníku Profinet/Dali bude možné toto svetlo na diaľku vypnúť alebo zapnúť pomocou PLC. Prevodník obsahuje aj vstavaný zdroj pre zbernicu. Okrem svetiel je možné pripojiť na zbernicu aj snímače ako napríklad PIR čidlá alebo snímače osvetlenia. Tým je možné regulovať osvetlenie v miestnosti na konštantnú úroveň alebo nastavovať intenzitu osvetlenia podľa času .



Obrázek 1.35: Princíp prepojenia PLC a DALI - zbernice [21]

### 9.1 Pripojenie gateway

K modulu výrobca poskytuje GSD (General Station Description) súbor ktorý vložíme do programu TIA Portal. Potom môžeme gateway pridať do hardwarovej konfigurácie ako bežného účastníka siete PROFINET s definovanými vstupnými a výstupnými adresami.

### 9.2 Konfigurácia gateway

Výrobca poskytuje software s menom SW67848 pomocou ktorého sa môžu konfigurovať jednotliví účastníci (telegramy, skupinové adresy, update firmware, scény) ale aj konfigurácia komunikácie. Nastavuje sa mapovanie adries z DALI zbernice na zbernicu PROFINET. To nám umožní ovládať všetkých 64 účastníkov zbernice ako vzdialené vstupy a výstupy. Štruktúra a možnosti nastavení sa veľmi podobajú prostrediu KNX .

Datasheet s podrobnejšími informáciami je v prílohe (G)

## 10 Žalúzie

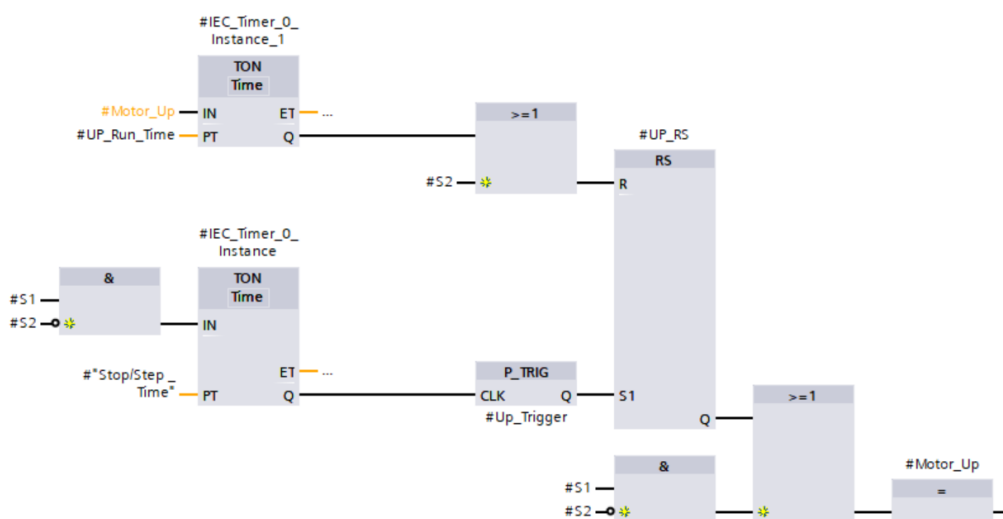
Žalúzie sú poháňané motormi Somfy na 230V. Smer otáčania je ovládaný privedením fázy na jedno alebo druhé vinutie. Motory majú malý prúdový odber a preto je možné ich ovládať priamo z PLC Rly karty. Ja som zvolil kartu DI 16x24VDC/DQ 16xRelay. Táto karta poskytuje najväčšiu hustotu vstupov/výstupov pre tento riadiaci systém. Mojou základnou požiadavkou bolo aby tento systém umožňoval dva druhy pohybu:

- Up/Down - po dlhom stlačení vytiahne žalúzie úplne dolu alebo hore
- Stop/Step - po krátkom stlačení umožní naklápanie lamiel

Motor v sebe obsahuje dojazdový spínač, takže nie je potrebné nastavovať presné limity v PLC. Stačí keď na úplné vytiahnutie/zatiahnutie bude nastavený mierne dlhší čas ako je mechanicky potrebný. Takisto aj ochranu proti preťaženiu alebo zamrznutiu lamiel obsahuje motor.

Vypínače som zvolil jednoduché štvorbodové. Každý bod je privedený ako zvlášť vstup. Ku každému tlačidlu som pridal aj jednu LED aby bolo možné signalizovať chod alebo iné prevádzkové hlásenia.

### 10.1 Program pre ovládanie žalúzií



Obrázek 1.36: Ukážka programu pre ovládanie žalúzií

Do funkčného bloku idú dva vstupy: S1 a S2 ktoré predstavujú dva body nášho vypínača. Z funkčného bloku idú dva výstupy: Motor\_Up a Motor\_Down kam pripojíme výstupy k motoru. Výstupy sú logicky ošetrené tak aby nemohli byť zopnuté oba súčasne. Premenná Stop/Step time určuje čas po ktorý treba držať tlačidlo aby žalúzie vyšli úplne hore/dolu. Premenná Up\_Run\_Time a Down\_Run\_Time označujú čas za ktorý sa vypne výstup pre pohon motora.

## Záver

Zámerom tejto diplomovej práce bolo vyhotoviť projektovú dokumentáciu k rekonštrukcii rodinného domu. V rámci vypracovania tohto projektu som skúmal veľké množstvo technických riešení a vyberal som tie najvhodnejšie. Snažil som sa popísať svoje vybrané riešenie čo najzrozumiteľnejšie, aby každý kto bude čítať túto prácu mohol použiť jej časti pre návrh vlastného projektu. Viacero riešení je nekonvenčných a nikde na internete alebo v odborných publikáciách som ich nenašiel. Ako napríklad ovládanie klapiek alebo meranie CO<sub>2</sub> pulznou metódou. So systémom S7-1200 som síce bol dobre oboznámený z mojej odbornej praxe ale programoval som zväčša úlohy podobné ovládaniu žalúzií. Analógové veličiny sa v mojom odvetví používajú iba málokedy. Takže som si rozšíril vedomosti o spracovaní signálov, vysokorýchlostných čítačoch a generátoroch impulzov. Ich funkciu som otestoval na PLC pomocou osciloskopu. Pri tejto práci som však už narazil na limity tohto systému a napríklad ďalšie rozšírenie o vstupy/výstupy by už znamenalo použitie distribuovaných vstupov/výstupov ako napríklad systém ET200. Na PLC sa nedá pripojiť viac ako osem rozširujúcich modulov. Preto som dospel k záveru, že systém S7-1200 je vhodný pre rekonštrukcie menších domov, bungalovov alebo bytov. Na väčšie projekty síce má dostatočný výpočtový výkon ale sám výrobca ho ochudobňuje o dôležité funkcie z hľadiska automatizácie budov aby posunul zákazníkov ku kúpe rady S7-1500. Táto rada na rozdiel od mnou použitej podporuje rozširovacie moduly v ET200SP ktoré dokážu priamo komunikovať s DALI zbernicou bez prídavného gateway. Ďalej ponúkajú moduly ktoré zvládajú komunikáciu a ovládanie nabíjačiek pre elektromobily a to ako pre AC aj pre DC nabíjanie takže by bolo možné pomocou tohto modulu napríklad riadiť nabíjací prúd elektromobilu podľa aktuálneho výkonu solárnej elektrárne. Nevýhodou je však približne dvojnásobná cena PLC. Vzhľadom na stále pokračujúci vývoj technológie KNX a jednoduchosti jeho nasadenia musím však povedať, že primárnou výhodou môjho riešenia je cena. Pomocou PLC sa dá takáto elektroinštalácia realizovať o približne 20% lacnejšie pri rovnakom počte ovládaných zariadení, ale nevýhodou je zložitosť zapojenia a množstvo káblov ktoré je potrebné priviesť. V porovnaní s KNX predpokladám, že káblov bude niekoľkonásobne viac. Preto z uvedeného vyplýva že, toto riešenie je vhodné pre ľudí ktorí chcú funkcie aké nikto iný nemá a sú ochotní do takéhoto riešenia investovať veľké množstvo času alebo ako silná alternatíva k súčasným centralizovaným systémom.

---

## Použitá literatura

- [1] The six basic factors [online]. Liverpool: Health and safety executive [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.hse.gov.uk/temperature/thermal/factors.htm>
- [2] IAQ Diagnostics Reference Manual: Hands-On Assessment of Building Ventilation and Pollutant Transport. University of Tulsa, College of Engineering and Applied Sciences, Department of Chemical Engineering
- [3] National Institute for Standards and Technology. 1994 Manual for Ventilation Assessment in Mechanically Ventilated Buildings. NISTR #5329-1994
- [4] 4 good reasons to monitor CO2 levels. Design Spark [online]. 2018, 19.11.2018, 2018(11), 4 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.rs-online.com/designspark/4-good-reasons-to-monitor-co2-levels>
- [5] What is a RTD Platinum Sensor? [online]. US: Omega, 2019 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.omega.com/en-us/resources/rtd-pt100-vs-pt1000>
- [6] Pt100 and Pt1000 Sensors: Important Facts and Differences [online]. Lawrenceville: Wika, 2019 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://blog.wika.us/products/temperature-products/pt100-and-pt1000-sensors-important-facts-and-differences/>
- [7] Analog Linearized 3-Wire PT100 RTD to 2-Wire 4-20mA Current Loop Transmitter Reference Design [online]. Texas Instruments Incorporated, 2015 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ug/tiduac6/tiduac6.pdf?ts=1588354849390>
- [8] S7-1200 Energy Meter [online]. Siemens, 2018 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/414/109739414/att\\_940228/v1/109739414\\_EnergyMeterS71200\\_DOKU\\_v11\\_en.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/414/109739414/att_940228/v1/109739414_EnergyMeterS71200_DOKU_v11_en.pdf)
- [9] Sinking VS Sourcing Digital Outputs [online]. Chedburgh: SMD Fluid controls, 2018 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.fluidswitch.com/resources/sinking-vs-sourcing-digital-outputs/>
- [10] Controlling thermal comfort [online]. Liverpool: Health and safety executive [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.hse.gov.uk/temperature/thermal/controlling.htm>
- [11] How does an NDIR CO2 Sensor Work? [online]. Health and safety executive, 2020 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.co2meter.com/blogs/news/6010192-how-does-an-ndir-co2-sensor-work>
- [12] How does an NDIR CO2 Sensor Work? [online]. Mid Infrared CO2 Sensing Technology, 2020 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.gassensing.co.uk/technology/>
- [13] S7-1200: Application Examples for High-Speed Counters (HSC) [online]. Siemens, 2016 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z:



---

[https://support.industry.siemens.com/cs/document/109742346/s7-1200%3A-application-examples-for-high-speed-counters-\(hsc\)?dti=0&lc=en-CH](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109742346/s7-1200%3A-application-examples-for-high-speed-counters-(hsc)?dti=0&lc=en-CH)

- [14] Intelligent Infrared CO2 Module [online]. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., 2015 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Infrared%20Gas%20Sensor/NDIR%20CO2%20SENSOR/MH-Z19%20CO2%20Ver1.0.pdf>
- [15] SIMATIC S7-1200 Easy Book [online]. Siemens, 2014 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/39710145/simatic-s7-1200-easy-book?dti=0&lc=en-MA>
- [16] SIMATIC S7-1200 - Can be flexibly tailored to your requirements [online]. Siemens, 2014 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>
- [17] 6GK7277-1AA10-0AA0 [online]. Siemens, 2014 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6GK7277-1AA10-0AA0>
- [18] SITOP PSU200M [online]. Siemens, 2014 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://media.distributordatasolutions.com/seimens/2017q1/ce2535ed7e090700ca02612833980bbb4e53f0af.pdf>
- [19] SITOP PSU200M [online]. How To Mechatronics, 2018 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-servo-motors-work-how-to-control-servos-using-arduino/>
- [20] SIMATIC S7-1200 SM 1238 Energy Meter 480VAC (6ES7238-5XA32-0XB0) [online]. Siemens, 2016 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/109483435?c=120741234443&lc=en-WW>
- [21] User Manual [online]. ADF, 2016 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: [http://www.adfweb.com/download/filefold/MN67848\\_ENG.pdf](http://www.adfweb.com/download/filefold/MN67848_ENG.pdf)
- [22] Datasheet [online]. Siemens [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/buildings/hvac/meters/ultrasonic-heat-cooling-energy-meters.html>

---

## Zoznam príloh

Príloha A:	Projektová dokumentácia .....	I
Príloha B:	Datasheet MH-Z19 .....	II
Príloha C:	S7-1200 Easy Book.....	III
Príloha D:	Energy Data Acquisition with the Energy Meter of the S7-1200.....	IV
Príloha E:	Datasheet XTR105 .....	V
Príloha F:	UH50 User manual .....	VI
Príloha G:	HD67848 User manual .....	VII